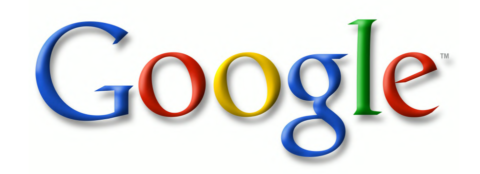




Die Mechanik der Wärme

in gesammelten Schriften

von

J. R. Mayer.

Stuttgart.
Verlag der J. G. Cotta'schen Buchhandlung.
1867.

Die Mechanik der Wärme

in gesammelten Schriften

von

J. R. Mayer.

Stuttgart.

Verlag der J. G. Cotta'schen Buchhandlung.

1867.

Buchdruckerei der J. G. Cotta'schen Buchhandlung in Stuttgart.

Vorrede.

Die Aufmerksamkeit, welche neuerdings der mechanischen Wärmetheorie und ihren Consequenzen allgemein geschenkt wird, hat sich in einer mir sehr erfreulichen Weise auch auf meine Arbeiten, welche diesen Gegenstand behandeln, erstreckt. Da aber meine Schriften nachgerade durch den Buchhandel nur schwer, theilweise auch gar nicht mehr zu beziehen sind, so hat mich dieses veranlasst, diese kleineren Originalabhandlungen — und zwar im Wesentlichen in unveränderter Form — gesammelt herauszugeben. Mit den ausgezeichneten Experimentalleistungen eines Joule und den analytischen Untersuchungen eines Clausius concurriren zu wollen, ist nicht meine Absicht, doch halte ich dafür, dass die Sammlung meiner Schriften insbesondere denen, welche der geschichtlichen Entwicklung der neuen Lehre Interesse schenken, eine willkommene Gabe sein wird, und

da in denselben in gedrängter Kürze und in leicht fasslicher Darstellung das Wesentlichste zusammengestellt ist, so wird überhaupt jeder, der sich für Naturwissenschaften interessirt, Belehrung und Anregung daraus schöpfen können.

Die erste Abhandlung vom Jahr 1842 beschäftigt sich, wie schon ihr Titel angibt, ausschliesslich mit der anorganischen Welt und es sind in derselben die Principien der mechanischen Wärmelehre in kurzen, bestimmten Sätzen niedergelegt. In der zweiten Arbeit, „die organische Bewegung," vom Jahr 1845 ist dieser Gegenstand zuerst auf eine mehr eingehende Weise entwickelt und es sind sodann Consequenzen für die Physiologie daraus gezogen, welche von Fachmännern wohl kaum mehr beanstandet werden dürften. Dem aufmerksamen Leser wird es aber nicht entgehen, dass in dieser Schrift und zwar im physikalischen Theile derselben schon Andeutungen enthalten sind, nach welchen der Wärme-Effect kosmisch bewegter Körper leicht und sicher bestimmt werden kann — ein Thema, welches drei Jahre später in meiner Schrift über die „Dynamik des Himmels" zur ausführlicheren Besprechung kam. Dass die planetarischen Massen, welche um die Sonne kreisen, indem sie sich in einem widerstandleistenden Medium,

dem Aether, bewegen, fortwährend Wärme entwickeln, welche in Summa dem Effecte der Sonnenstrahlung selbst quantitativ nahezu gleich kommt und für die Temperatur des solaren Weltraumes von bedeutendem Einflusse sein muss, ist dort noch nicht ausgeführt, lässt sich aber aus den Prämissen leicht entwickeln, und es wird damit auch die Meteoritenlehre in den Stand gesetzt, Rechenschaft davon zu geben, dass die Erde in verschiedenen Regionen ihrer Bahn verschiedene Temperaturen antrifft.

Es enthält ferner „die organische Bewegung" wiederholt Andeutungen über die Auffassung pathologischer Zustände und in diesem Sinne reiht sich an diese Schrift eine kurze Abhandlung „über das Fieber" als ein Versuch, Fragen aus der allgemeinen Pathologie von dem gewonnenen Standpunkte aus in Angriff zu nehmen.

In der Schlussschrift „über das mechanische Wärme-Aequivalent" ist das Augenmerk hauptsächlich auf die naturwissenschaftliche Methodik und Terminologie gerichtet, und ich glaube diese kurze Abhandlung Jedermann, der sich in den besprochenen Fächern klare Begriffe bilden oder unbestimmte Vorstellungen berichtigen will, zum Studium empfehlen zu dürfen. Es ist damit zugleich

die metaphysische Seite des neuen Gegenstandes berührt, welche den Principien und Consequenzen der materialistischen Anschauungsweise geradezu entgegengesetzt ist. Eine ausführliche Bearbeitung dieses Themas verdanken wir dem ausgezeichneten französischen Physiker A. Hirn in seiner „Esquisse élémentaire de la théorie mécanique de la chaleur et de ses conséquences philosophiques," Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Colmar, 1846.

Dem wiederholt an mich gestellten Ansinnen, ein Lehrbuch der Physik mit Zugrundelegung meiner neuen Wärmelehre zu verfassen, konnte ich nicht entsprechen; es ist aber diese Aufgabe in trefflicher Weise von dem grossen englischen Physiker John Tyndall in seinem berühmten Werke „Heat considered as a Mode of Motion, London 1863," gelöst worden.

Heilbronn, im Frühjahr 1867.

Der Verfasser.

Inhalt.

Bemerkungen

über

die Kräfte der unbelebten Natur.

(Annalen der Chemie und Pharmacie von Wöhler und Liebig. 1842. Bd. XLII. Maiheft, p. 233 u. folg.)

Der Zweck folgender Zeilen ist, die Beantwortung der Frage zu versuchen, was wir unter „Kräften“ zu verstehen haben, und wie sich solche unter einander verhalten. Während mit der Benennung „Materie“ einem Objecte sehr bestimmte Eigenschaften, als die der Schwere, der Raumerfüllung zugetheilt werden, knüpft sich an die Benennung Kraft vorzugsweise der Begriff des unbekannten, unerforschlichen, hypothetischen. Ein Versuch, den Begriff von Kraft ebenso präcis als den von Materie aufzufassen, und damit nur Objecte wirklicher Forschung zu bezeichnen, dürfte mit den daraus fliessenden Consequenzen, Freunden klarer hypothesenfreier Naturanschauung nicht unwillkommen sein.

Kräfte sind Ursachen, mithin findet auf dieselben volle Anwendung der Grundsatz: *causa aequat effectum.* Hat die Ursache c die Wirkung e, so ist $c = e$; ist e wieder die Ursache einer anderen Wirkung f, so ist $e = f$, u. s. f. $c = e = f \ldots = c$. In einer Kette von Ursachen und Wirkungen kann, wie aus der Natur einer Gleichung erhellt, nie ein Glied oder ein Theil

eines Gliedes zu Null werden. Diese erste Eigenschaft aller Ursachen nennen wir ihre Unzerstörlichkeit.

Hat die gegebene Ursache c eine ihr gleiche Wirkung e hervorgebracht, so hat eben damit c zu sein aufgehört; c ist zu e geworden; wäre nach der Hervorbringung von e, c ganz oder einem Theile nach noch übrig, so müsste dieser rückbleibenden Ursache noch weitere Wirkung entsprechen, die Wirkung von c überhaupt also $> e$ ausfallen, was gegen die Voraussetzung $c = e$. Da mithin c in e, e in f u. s. w. übergeht, so müssen wir diese Grössen als verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objectes betrachten. Die Fähigkeit, verschiedene Formen annehmen zu können, ist die zweite wesentliche Eigenschaft aller Ursachen. Beide Eigenschaften zusammengefasst sagen wir: Ursachen sind (quantitativ) unzerstörliche und (qualitativ) wandelbare Objecte.

Zwei Abtheilungen von Ursachen finden sich in der Natur vor, zwischen denen erfahrungsmässig keine Uebergänge stattfinden. Die eine Abtheilung bilden die Ursachen, denen die Eigenschaft der Ponderabilität und Impenetrabilität zukommt, — Materien; die andere die Ursachen, denen letztere Eigenschaften fehlen, — Kräfte, von der bezeichnenden negativen Eigenschaft auch Imponderabilien genannt. Kräfte sind also: unzerstörliche, wandelbare, imponderable Objecte.

Eine Ursache, welche die Hebung einer Last bewirkt, ist eine Kraft; ihre Wirkung, die gehobene

Last, ist also ebenfalls eine Kraft; allgemeiner ausgedrückt heisst dies: räumliche Differenz ponderabler Objecte ist eine Kraft; da diese Kraft den Fall der Körper bewirkt, so nennen wir sie Fallkraft. Fallkraft und Fall, und allgemeiner noch Fallkraft und Bewegung sind Kräfte, die sich verhalten wie Ursache und Wirkung, Kräfte, die in einander übergehen, zwei verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objectes. Beispiel: eine auf dem Boden ruhende Last ist keine Kraft; sie ist weder Ursache einer Bewegung, noch der Hebung einer andern Last, wird diess aber in dem Masse, in welchem sie über den Boden gehoben wird; die Ursache, der Abstand einer Last von der Erde und die Wirkung, das erzeugte Bewegungsquantum, stehen, wie die Mechanik weiss, in einer beständigen Gleichung.

Indem man die Schwere als Ursache des Falls betrachtet, spricht man von einer Schwerkraft und verwirrt so die Begriffe von Kraft und Eigenschaft; gerade das, was jeder Kraft wesentlich zukommen muss, die Vereinigung von Unzerstörlichkeit und Wandelbarkeit, geht jedweder Eigenschaft ab; zwischen einer Eigenschaft und einer Kraft, zwischen Schwere und Bewegung lässt sich desshalb auch nicht die für ein richtig gedachtes Causalverhältniss nothwendige Gleichung aufstellen. Heisst man die Schwere eine Kraft, so denkt man sich damit eine Ursache, welche, ohne selbst abzunehmen, Wirkung hervorbringt, hegt damit also unrichtige Vorstellungen über den ursächlichen Zusammenhang der Dinge. Um dass ein

Körper fallen könne, dazu ist seine Erhebung nicht minder nothwendig, als seine Schwere, man darf daher letzterer allein den Fall der Körper nicht zuschreiben.

Es ist der Gegenstand der Mechanik, die zwischen Fallkraft und Bewegung, Bewegung und Fallkraft, und die zwischen den Bewegungen unter sich bestehenden Gleichungen zu entwickeln; wir erinnern hier nur an einen Punkt. Die Grösse der Fallkraft v steht — den Erdhalbmesser $= \infty$ gesetzt — mit der Grösse der Masse m und mit der ihrer Erhebung d, in geradem Verhältnisse; $v = m\,d$. Geht die Erhebung $d = 1$ der Masse m in Bewegung dieser Masse von der Endgeschwindigkeit $v = 1$ über, so wird auch $v = m\,c$; aus den bekannten zwischen d und c stattfindenden Relationen ergiebt sich aber für andere Werthe von d oder c, $m\,c^2$ als das Mass der Kraft v; also $v = m\,d = m\,c^2$; das Gesetz der Erhaltung lebendiger Kräfte finden wir in dem allgemeinen Gesetze der Unzerstörbarkeit der Ursachen begründet.

Wir sehen in unzähligen Fällen eine Bewegung aufhören, ohne dass letztere eine andere Bewegung, oder eine Gewichtserhebung hervorgebracht hätte; eine einmal vorhandene Kraft kann aber nicht zu Null werden, sondern nur in eine andere Form übergehen und es fragt sich somit, welche weitere Form die Kraft, welche wir als Fallkraft und Bewegung kennen gelernt, anzunehmen fähig sei? Nur die Erfahrung kann uns hierüber Aufschluss ertheilen. Um zweckmässig zu experimentiren, müssen wir Werkzeuge wählen, welche

neben dem, dass sie eine Bewegung wirklich zum Aufhören bringen, von den zu untersuchenden Objecten möglichst wenig verändert werden. Reiben wir z. B. zwei Metallplatten an einander, so werden wir Bewegung verschwinden, Wärme dagegen auftreten sehen und es fragt sich jetzt nur, ist die Bewegung die Ursache von Wärme? Um uns über dieses Verhältniss zu vergewissern, müssen wir die Frage erörtern, hat nicht in den zahllosen Fällen, in denen unter Aufwand von Bewegung Wärme zum Vorschein kommt, die Bewegung eine andere Wirkung als die Wärmeproduction und die Wärme eine andere Ursache als die Bewegung?

Ein Versuch, die Wirkungen der aufhörenden Bewegung nachzuweisen, wurde noch nie ernstlich angestellt; ohne die möglicherweise aufzustellenden Hypothesen zum Voraus widerlegen zu wollen, machen wir nur darauf aufmerksam, dass diese Wirkung in eine Veränderung des Aggregationszustandes der bewegten, sich reibenden etc. Körper in der Regel nicht gesetzt werden könne. Nehmen wir an, es werde ein gewisses Quantum von Bewegung v dazu verwendet, eine reibende Materie m in n zu verwandeln, so müsste $m + v = n$, und $n = m + v$ sein, und bei der Rückführung von n in m müsste v in irgend einer Form wieder zu Tage kommen. Durch sehr lange fortgesetztes Reiben zweier Metallplatten können wir nach und nach ein ungeheures Quantum von Bewegung zum Aufhören bringen; kann uns aber beifallen, in dem gesammelten Metallstaube auch nur eine Spur der entschwundenen

Kraft wiederfinden und daraus reduciren zu wollen? Zu Nichts, wir wiederholen, kann die Bewegung nicht geworden sein und entgegengesetzte, oder positive und negative Bewegungen können nicht = 0 gesetzt werden, so wenig aus 0 entgegengesetzte Bewegungen entstehen können, oder eine Last sich von selbsten hebt.

So wenig sich, ohne Anerkennung eines ursächlichen Zusammenhanges zwischen Bewegung und Wärme von der entschwundenen Bewegung irgend Rechenschaft geben lässt, so wenig lässt sich auch ohne jene die Entstehung der Reibungswärme erklären. Aus der Volumensverminderung der sich reibenden Körper kann dieselbe nicht hergeleitet werden. Man kann bekanntlich durch Zusammenreiben zwei Eisstücke im luftleeren Raume schmelzen; man versuche nun, ob man durch den unerhörtesten Druck Eis in Wasser verwandeln könne? Wasser erfährt, wie der Verfasser fand, durch starkes Schütteln eine Temperaturerhöhung. Das erwärmte Wasser (von 12° und 13° C.) nimmt nach dem Schütteln ein grösseres Volumen ein, als vor demselben; woher kommt nun die Wärmemenge, welche sich durch wiederholtes Schütteln in demselben Apparate beliebig oft hervorbringen lässt? Die thermische Vibrationshypothese inclinirt zu dem Satze, dass Wärme die Wirkung von Bewegung sei, würdigt aber dieses Causalverhältniss im vollen Umfange nicht, sondern legt das Hauptgewicht auf unbehagliche Schwingungen.

Ist es nun ausgemacht, dass für die verschwin-

dende Bewegung in vielen Fällen *(exceptio confirmat regulam)* keine andere Wirkung gefunden werden kann, als die Wärme, für die entstandene Wärme keine andere Ursache als die Bewegung, so ziehen wir die Annahme, Wärme ensteht aus Bewegung, der Annahme einer Ursache ohne Wirkung und einer Wirkung ohne Ursache vor, wie der Chemiker statt H und O ohne Nachfrage verschwinden, und Wasser auf unerklärte Weise entstehen zu lassen, einen Zusammenhang zwischen H und O einer — und Wasser anderseits statuirt.

Den natürlichen, zwischen Fallkraft, Bewegung und Wärme bestehenden Zusammenhang können wir uns auf folgende Weise anschaulich machen. Wir wissen, dass Wärme zum Vorschein kommt, wenn die einzelnen Massentheile eines Körpers sich näher rücken; Verdichtung erzeugt Wärme; was nun für die kleinsten Massentheile und ihre kleinsten Zwischenräume gilt, muss wohl auch seine Anwendung auf grosse Massen und messbare Räume finden. Das Herabsinken einer Last ist eine wirkliche Volumensverminderung des Erdkörpers, muss also gewiss mit der dabei sich zeigenden Wärme im Zusammenhange stehen; diese Wärme wird der Grösse der Last und ihrem (ursprünglichen) Abstande genau proportional sein müssen. Von dieser Betrachtung wird man ganz einfach zu der besprochenen Gleichung von Fallkraft, Bewegung und Wärme geführt.

So wenig indessen aus dem zwischen Fallkraft und Bewegung bestehenden Znsammenhange geschlossen

werden kann: das Wesen der Fallkraft sei Bewegung, so wenig gilt dieser Schluss für die Wärme. Wir möchten vielmehr das Gegentheil folgern, dass um zu Wärme werden zu können, die Bewegung, — sei sie eine einfache, oder eine vibrirende, wie das Licht, die strahlende Wärme etc., — aufhören müsse, Bewegung zu sein.

Wenn Fallkraft und Bewegung gleich Wärme, so muss natürlich auch Wärme gleich Bewegung und Fallkraft sein. Wie die Wärme als Wirkung entsteht, bei Volumensverminderung und aufhörender Bewegung, so verschwindet die Wärme als Ursache unter dem Auftreten ihrer Wirkungen, der Bewegung, Volumsvermehrung, Lasterhebung.

In den Wasserwerken liefert die, auf Kosten der Volumensverminderung, welche der Erdkörper durch den Fall des Wassers beständig erleidet, entstehende und wieder verschwindende Bewegung fortwährend eine bedeutende Menge von Wärme; umgekehrt dienen wieder die Dampfmaschinen zur Zerlegung der Wärme in Bewegung oder Lasterhebung. Die Locomotive mit ihrem Convoi ist einem Destillirapparate zu vergleichen; die unter dem Kessel angebrachte Wärme geht in Bewegung über, und diese setzt sich wieder an den Axen der Räder als Wärme in Menge ab.

Wir schliessen unsere Thesen, welche sich mit Nothwendigkeit aus dem Grundsatze „*causa aequat effectum*“ ergeben und mit allen Naturerscheinungen im vollkommenen Einklang stehen, mit einer praktischen Folgerung. — Zur Auflösung der zwischen Fall-

kraft und Bewegung statthabenden Gleichungen musste der Fallraum für eine bestimmte Zeit, z. B. für die erste Sekunde durch das Experiment bestimmt werden; gleichermassen ist zur Auflösung der zwischen Fallkraft und Bewegung einer — und der Wärme anderseits bestehenden Gleichungen die Frage zu beantworten, wie gross das einer bestimmten Menge von Fallkraft oder Bewegung entsprechende Wärmequantum sei. Z. B. wir müssen ausfindig machen, wie hoch ein bestimmtes Gewicht über den Erdboden erhoben werden müsse, dass seine Fallkraft äquivalent sei der Erwärmung eines gleichen Gewichtes Wasser von 0° auf 1° C.? Dass eine solche Gleichung wirklich in der Natur begründet sei, kann als das Resumé des Bisherigen betrachtet werden.

Unter Anwendung der aufgestellten Sätze auf die Wärme — und Volumensverhältnisse der Gasarten findet man die Senkung einer ein Gas comprimirenden Quecksilbersäule gleich der durch die Compression entbundenen Wärmemenge und es ergiebt sich hieraus, — den Verhältnissexponenten der Capacitäten der atmosphärischen Luft unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen = 1,421 gesetzt — dass dem Herabsinken eines Gewichtstheiles von einer Höhe von circa 365^m^ die Erwärmung eines gleichen Gewichtstheiles Wasser von 0° auf 1° entspreche. Vergleicht man mit diesem Resultate die Leistungen unserer besten Dampfmaschinen, so sieht man, wie nur ein geringer Theil der unter dem Kessel angebrachten Wärme in Bewegung oder Lasterhebung wirklich zersetzt wird

und dies könnte zur Rechfertigung dienen, für die Versuche, Bewegung auf anderem Wege als durch Aufopferung der chemischen Differenz von C und O, namentlich also durch Verwandlung der auf chemischem Wege gewonnenen Electricität in Bewegung, auf erspriessliche Weise darstellen zu wollen.

Die organische Bewegung

in ihrem Zusammenhange

mit dem

Stoffwechsel.

Ein Beitrag zur Naturkunde.

Einleitung.

Die angewandte Mathematik hat im Verlaufe der letzten Jahrhunderte eine so hohe Stufe der Ausbildung erreicht, ihre Schlüsse haben einen solchen Grad von Sicherheit erlangt, dass sie unter den Wissenschaften den ersten Rang einzunehmen berechtigt ist. Sie ist der Anfang und das Ende für den Sternkundigen, den Techniker, den Seemann, sie ist die feste Axe aller Naturforschung jetziger Zeit. Nur der **Biologie** haben die Entdeckungen *Galiläi's, Newton's* und *Mariotte's* verhältnissmässig geringe Früchte getragen; für die Lebenserscheinungen wurden keine Formeln aufgefunden, denn: der Buchstabe tödtet, der Geist allein giebt Leben.

Bei dem Studium der Lehre von den auf organischem Wege erzeugten Bewegungen wird die Kluft zwischen mathematischer Physik und Physiologie, welche auch die trefflichen Untersuchungen eines *Schwann* und *Valentin* nicht ausgefüllt haben, lebhaft empfunden, wesshalb der Versuch, eine Methode aufzustellen, durch

welche beide Wissenschaften in Beziehung auf den fraglichen Punkt sich näher gerückt werden sollen, für den Physiologen nicht ohne Interesse sein wird.

Wohl müsste es ein Recidiv genannt werden in die Fehler der antiken Naturforschung oder in die Verirrungen einer modernen Naturphilosophie, wenn es sich um einen Versuch handeln sollte, *a priori* eine Welt zu construiren; wenn es aber gelungen ist, die zahllosen Naturerscheinungen unter sich zu verknüpfen und aus ihnen einen obersten Grundsatz abzuleiten, so mag es nicht zum Vorwurfe gereichen, wenn man nach sorgfältiger Prüfung sich eines solchen als Compass bedient, um unter sicherer Führung auf dem Meere der Einzelheiten fortzusteuern.

Ausgehend von den Gesetzen anorganischer Erscheinungen, legen wir einerseits die Resultate der Mechanik als ausgemachte Wahrheiten zu Grunde, während wir uns auf der anderen Seite an die Begriffe und Eintheilungen, wie sie diese Wissenschaft *pro domo* aufzustellen für gut fand, keineswegs als gebunden erklären können. Die Mechanik anatomirt die Naturgegenstände, mit denen sie sich beschäftigt, durch möglichst weit getriebene Abstraction, bis sie als Zahlen und Linien in ihren Calcul passen, und zufrieden, die Fragen, die sie stellt, mit bewundernswürdiger Schärfe und mathematischer Sicherheit beantworten zu können, kümmert sie sich wenig, wenn an der Grenze ihres Gebietes, nach ihrer Anschauungsweise Erscheinungen weit auseinander zu liegen kommen, die in der Natur auf's engste verknüpft sind, und wiederum

Begriffe und Objecte zusammenfallen, die in der Welt nichts mit einander gemein haben.

Die Begriffe, welche sich die Mechanik zu ihren Zwecken geschaffen hat, werden von anderen Wissenschaften weiter fortgeführt, als es im Sinne der ersteren liegen konnte. Auf die Frage, was unter einem „Körper" zu verstehen sei? wird der Geometer antworten: „ohne Präjudiz für den Physiker, Zoologen, Psychologen u. s. w., ist nach unseren Begriffen ein Körper ein nach drei Dimensionen begrenzter Raum". Der Mechaniker, welcher sich die Entstehung, Abänderung, Aufhebung jeder Bewegung durch einen Druck bewerkstelligt vorstellt, nennt diesen *in abstracto* „Kraft"; die Fähigkeit der Masse, einen solchen Druck ausüben zu können, die Schwere, nennt er eine Kraft. Ohne aber bei der Abstraction des Mechanikers: Kraft = Druck, zu bleiben, wurde in anderen Wissenschaften die Schwere als Typus der Kräfte aufgestellt und damit eine künstliche Verwirrung der Begriffe: Eigenschaft, Kraft, Ursache, Wirkung, herbeigeführt, die bei dem Baue des Thurmes der Erkenntniss zu einem mächtigen Hindernisse geworden.

Bevor wir nun mit der Untersuchung physiologischer Gesetze beginnen, möge es erlaubt sein, über den Begriff von Kraft mit dem Leser uns zu verständigen und die hier einschlagenden anorganischen Erscheinungen in ihrem natürlichen Zusammenhange darzustellen.

Bei Abfassung des anorganischen Theiles der Abhandlung war der Verfasser bemüht, die bezüglichen

mechanischen und physikalischen Probleme auf allgemein verständliche Weise auseinander zu setzen. Sollten sich nichtsdestoweniger einzelne Stellen vorfinden, zu deren Verständniss eine genauere Bekanntschaft mit den Lehrsätzen der Mechanik erforderlich wäre, so war dieses, der Natur der Sache nach, nicht wohl zu vermeiden.

Möchten auch Physiker, denen der Calcul bei ihren Forschungen nur Mittel und nicht Selbstzweck ist, eine ernste Prüfung diesem Theile der Schrift nicht versagen!

Soll eine ruhende Masse in Bewegung gesetzt werden, so ist dazu ein Aufwand von Kraft erforderlich. Eine Bewegung entsteht nicht von selbst; sie entsteht aus ihrer Ursache, aus der Kraft.

Ex nihilo nil fit.

Ein Object, das, indem es aufgewendet wird, Bewegung hervorbringt, nennen wir *Kraft.*

Die Kraft, als Bewegungsursache, ist ein unzerstörliches Object. Es entsteht keine Wirkung ohne Ursache; keine Ursache vergeht ohne entsprechende Wirkung.

Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum.

Die Wirkung ist gleich der Ursache. Die Wirkung der Kraft ist wiederum Kraft.

Die quantitative Unveränderlichkeit des Gegebenen ist ein oberstes Naturgesetz, das sich auf gleiche Weise über Kraft und Materie erstreckt.

Die Chemie lehrt uns die qualitativen Veränderungen kennen, welche die gegebenen Materien unter verschiedenen Umständen erleiden, und liefert dabei

wirklich in jedem einzelnen Falle den Beweis, dass bei den chemischen Processen nur die Form und nicht die Grösse [1] des Gegebenen geändert wird.

Was die Chemie in Beziehung auf Materie, das hat die Physik in Beziehung auf Kraft zu leisten. Die Kraft in ihren verschiedenen Formen kennen zu lernen, die Bedingungen ihrer Metamorphosen zu erforschen, diess ist die einzige Aufgabe der Physik, denn die Erschaffung oder die Vernichtung einer Kraft liegt ausser dem Bereiche menschlichen Denkens und Wirkens.

Ob es in zukünftigen Zeiten je gelingen werde, die zahlreichen chemischen Grundstoffe in einander zu verwandeln, sie auf wenige Elemente oder gar auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen, diess ist mehr als zweifelhaft. Nicht das Gleiche gilt von den Bewegungsursachen. *A priori* lässt sich beweisen und durch die Erfahrung überall bestätigen, dass die verschiedenen Kräfte ineinander sich verwandeln lassen.

Es giebt in Wahrheit nur eine einzige Kraft.

In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der todten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft!

[1] Die Materie A erfährt durch Hinzufügen einer Materie B allerdings eine Grössenveränderung. Da aber B ebensowohl wie A als gegeben betrachtet werden muss, und die Summe A + B ihren Theilen A und B zusammengenommen gleich ist, so ist klar, dass das Gegebene im Ganzen betrachtet durch Zusammenfügen oder Trennen der Theile keine Grössenveränderung erfährt.

I.

Die *Bewegung* ist eine Kraft. Bei der Aufzählung der Kräfte verdient sie die erste Stelle. Die Wärme erwärmt, die Bewegung bewegt.

Wenn eine bewegte Masse auf eine ruhende trifft, so wird die letztere in Bewegung gesetzt, während die erste an Bewegung verliert.

Stösst der weisse Ball den Rothen central an, so verliert der Weisse seine Bewegung und der Rothe geht mit dessen Geschwindigkeit fort. Die Bewegung des Weissen ist es, welche aufgewendet die Bewegung des Rothen hervorgebracht, oder sich in die letztere verwandelt hat. Die Bewegung des Weissen ist eine Kraft. Die Bewegung des Rothen ist als Wirkung ihrer Ursache gleich; sie ist ebenfalls eine Kraft.

Eine Billard-Kugel kann durch einen Stoss viele andere Kugeln, gross und klein, fortbewegen, und dabei selbst noch in Bewegung bleiben. Die Grösse der Kraft aber, oder die sogenannte „lebendige Kraft der Bewegung“, ist vor und nach dem Stosse constant geblieben.

II.

Eine ruhende Masse, in irgend einer Entfernung von dem Erdboden sich selbst überlassen, setzt sich sofort in Bewegung und langt mit einer berechenbaren Endgeschwindigkeit auf dem Boden an. Die Bewegung dieser Masse kann nicht ohne Aufwand von Kraft entstanden sein. Welches ist nun diese Kraft?

Hält man sich statt an herkömmliche Voraussetzungen nur an die einfache reine Thatsache, so

wird man leicht gewahr, dass die Erhebung des Gewichtes die Ursache ist von der Bewegung desselben. Ein Pfundgewicht war 15′ über dem Boden ruhend; durch Herabfallen hat es die Geschwindigkeit von 30′ in einer Secunde erlangt: aufgewendet wurde die Erhebung, erzeugt wurde die Bewegung der Last.

Gewichtserhebung ist Bewegungsursache, ist Kraft.

Diese Kraft erzeugt die Fallbewegung; wir nennen sie *Fallkraft.*

Wenn eine Masse sich mit einer gewissen Geschwindigkeit auf horizontaler Ebene fortbewegt, so behält sie ihre Bewegung — wie man sich auszudrücken pflegt, nach dem Gesetz der Trägheit — unverändert bei. Die nemliche Masse aber, wenn sie mit der nemlichen Geschwindigkeit beginnt, sich vertikal aufwärts zu bewegen, verliert in wenig Augenblicken ihre Bewegung vollständig. Eine Masse von 1 ℔ fängt mit der Geschwindigkeit von 30′ zu steigen an, — nach einer Sekunde hat die Bewegung aufgehört; das Pfund ist 15′ hoch gehoben worden. Die Kraft, welche diese Last gehoben hat, ist die Bewegung; was so eben Wirkung gewesen, ist jezt Ursache, was Ursache gewesen, ist zur Wirkung geworden. Fallkraft hat sich in Bewegung, und Bewegung wiederum in Fallkraft verwandelt.

Die Grösse der Fallkraft wird gemessen: durch das Produkt aus dem Gewicht in seine Höhe; die Grösse der Bewegung: durch das Produkt

aus der bewegten Masse in das Quadrat ihrer Geschwindigkeit.[1] Beide Kräfte werden auch unter dem Collectiv-Namen des mechanischen Effektes aufgeführt.

Wird eine Fallkraft in Bewegung, oder eine Bewegung in Fallkraft verwandelt, so bleibt die gegebene Kraft oder der mechanische Effekt eine constante Grösse. Dieses Gesetz, eine specielle Anwendung des Axioms der Unzerstörlichkeit der Kraft, wird in der Mechanik unter dem Namen „Princip der Erhaltung lebendiger Kräfte" aufgeführt. Belege hiezu liefern: der freie Fall aus jeder Höhe, der Fall auf vorgeschriebenen Wegen, die Pendelschwingungen, die Bewegungen der Himmelskörper.

1 Dem Newton'schen Gravitations-Gesetze gemäss ist ganz allgemein die Fallkraft den sich anziehenden Massen und dem Fallraume direkt, dem anfänglichen und dem übrigbleibenden Abstande der Schwerpunkte aber umgekehrt proportional. — Sind A und B zwei in dem gegebenen Abstande h ruhende Massen, und c, c' die Geschwindigkeiten, welche die Massen durch Reduktion von h auf den kleineren Abstand h' erhalten, so ist

$$A\,c^2 + B\,c'^2 = \frac{A\,.\,B\,.\,(h - h')}{h\,.\,h'}$$

Ist unter A ein Gewicht, unter B die Erde zu verstehen, und ist der Fallraum h — h' im Verhältniss zum *radius terrae* h' verschwindend klein, so reducirt sich nach den Lehren der Mechanik diese Gleichung auf eine einfachere; es wird

$$A\,c^2 = A\,(h - h').$$

Mit Worten: das Produkt aus der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit verhält sich zu dem Produkte aus der Masse in den Fallraum wie die Ursache zur Wirkung. — Die eine Seite dieser Gleichungen können wir „Ursache", die andere „Wirkung", jede aber „Kraft" nennen.

III.

Jahrtausende lang war das Menschengeschlecht zur Lösung einer immer wiederkehrenden Aufgabe: ruhende Massen mit den Hülfsmitteln der anorganischen Natur in Bewegung zu setzen, fast ausschliesslich auf die Verwendung gegebener mechanischer Effekte beschränkt. Einer neuen Zeit war es vorbehalten, den Kräften der alten Welt, der strömenden Luft und dem fallenden Wasser, noch eine andere Kraft hinzuzufügen. Diese dritte Kraft, deren Wirkungen unser Jahrhundert mit Bewunderung erblickt, ist die *Wärme.*

Die Wärme ist eine Kraft; sie lässt sich in mechanischen Effekt verwandeln.[1]

Einer Masse von 100,000 ℔, einem Convoi, soll die Geschwindigkeit von 30′ in einer Sekunde ertheilt werden. Durch den Aufwand der erforderlichen Menge von gegebener Bewegung oder Fallkraft lässt sich diesem Verlangen entsprechen, und es werden die Wagen z. B. durch Herabrollen über eine geneigte Ebene die gewünschte Bewegung erhalten. Der Convoi wird aber in der Regel ohne Aufwand von Fallkraft in Bewegung

[1] Wenn hier eine Verwandlung der Wärme in mechanischen Effekt statuirt wird, so soll damit nur eine Thatsache ausgesprochen, die Verwandlung selbst aber keineswegs erklärt werden. Ein gegebenes Quantum Eis lässt sich in eine entsprechende Menge Wasser verwandeln; diese Thatsache steht fest da und unabhängig von unfruchtbaren Fragen über Wie und Warum und von gehaltlosen Speculationen über den letzten Grund der Aggregats-Zustände. Die ächte Wissenschaft begnügt sich mit positiver Erkenntniss und überlässt es willig dem Poeten und Naturphilosophen, die Auflösung ewiger Räthsel mit Hülfe der Phantasie zu versuchen.

gesetzt und trotz Reibung u. s. w. darinnen erhalten. Wenn man als Aequivalent der Reibung eine Steigung der Bahn von $\frac{1}{150}$ annimmt, so wird bei einer Geschwindigkeit von 30′ die Last in einer Zeitstunde 720′ hoch gehoben, was der einstündigen Arbeit von circa 45 Pferden entspricht. Diese enorme Menge erzeugter Bewegung setzt eine gleich grosse Menge einer aufgewendeten Kraft voraus. Die in den Locomotiven wirksame Kraft ist die Wärme.

Der Aufwand von Wärme, oder die Verwandlung der Wärme in Bewegung beruht nun darauf, dass die Wärmemenge, welche von den Dämpfen aufgenommen wird, fortwährend grösser ist, als die, welche von den Dämpfen bei ihrer Verdichtung an die Umgebung wieder abgesetzt wird. Die Differenz giebt die nutzbar verwendete, oder die in mechanischen Effekt verwandelte, Wärme.

Gleiche Mengen von Brennmaterial geben unter gleichen Umständen gleiche Wärmemengen; die Kohlen aber, welche unter dem Kessel verbrennen, geben weniger Wärme frei, wenn die Maschine arbeitet, als wenn sie stille steht. Die freie Wärme theilt sich der Umgebung mit und geht so für mechanische Zwecke verloren. Je vollkommener nun der Apparat, um so weniger wird verhältnissmässig Wärme an die Umgebung abgesetzt. Die besten Maschinen geben nahe 5 proc. Differenz. 100 ℔ Steinkohlen liefern in einer solchen Maschine keine grössere Menge von freier Wärme, als 95 ℔ Steinkohlen abgeben, welche ohne Arbeit verbrennen.

Zur Begründung dieses wichtigen Satzes müssen wir das Verhalten elastischer Flüssigkeiten gegen Wärme und mechanischen Effekt ins Auge fassen.

Gay-Lussac hat durch das Experiment bewiesen, dass eine elastische Flüssigkeit, die aus einem Ballon in einen gleich grossen luftleeren Behälter einströmt, im ersten Gefäss genau um so viele Grade sich abkühlt, als sie sich im zweiten erwärmt. Dieser, durch seine Einfachheit ausgezeichnete Versuch, der auch andern Beobachtern stets das nämliche Resultat geliefert hat, lehrt, dass ein gegebenes Gewicht und Volumen einer elastischen Flüssigkeit auf ein doppeltes, vierfaches, überhaupt auf ein mehrfaches Volumen sich ausbreiten könne, ohne im Ganzen eine Temperaturveränderung zu erfahren, oder, dass zur Ausdehnung des Gases an und für sich kein Wärmeaufwand erforderlich sei. Ebenso constatirt ist aber auch die Thatsache: dass ein Gas, welches unter einem Drucke sich ausdehnt, eine Temperaturverminderung erleidet.

Angenommen, ein Kubikzoll Luft von 0° und 27 Zoll Quecksilber Druck, sei durch die Wärmemenge x bei constantem Volumen um 274° C. erwärmt worden; es wird dieses Gas, wenn es in ein leeres Gefäss von gleichem Rauminhalte einströmt, seine Temperatur von 274° beibehalten, und ein die Gefässe umgebendes Medium wird durch die Ausbreitung des Gases in seiner Normal-Temperatur keine Aenderung erfahren. Ein andermal aber werde unser Cubikzoll Luft nicht unter constantem Volumen, sondern unter constantem Drucke

der 27zölligen Quecksilbersäule von 0 auf 274⁰ erwärmt. Diessmal ist eine grössere Wärmemenge erforderlich als zuvor; es sei dieselbe = x + y.

Bei der Vergleichung dieser Vorgänge sehen wir in beiden die Luft von 0 auf 274⁰ sich erwärmen und zugleich von einem Volumen auf zwei Volumina sich ausbreiten; im ersten Falle war die erforderliche Wärmemenge = x, im zweiten = x + y; im ersten Falle war der gelieferte mechanische Effekt = 0, im zweiten = 15 ℔ auf 1″ Höhe.

Erkaltet die Luft unter den nemlichen Umständen, unter denen sie erwärmt wurde, so giebt sie eine gleich grosse Wärmemenge zurück als sie zuvor aufgenommen hat. Das gegebene Luftquantum wird also, wenn es ohne gleichzeitigen Aufwand von mechanischem Effekt (oder bei fehlendem Nachdruck) von 274⁰ auf 0 sich abkühlt, die Wärmemenge = x, beim Abkühlen aber unter constantem Drucke, mit Aufwand der Fallkraft von 15 ℔ Gewicht und 1″ Höhe, die Wärmemenge = x + y zurückgeben.

Der Dampf in der Maschine, während er unter dem Embolus sich ausdehnt, verhält sich wie die Luft bei constantem Drucke; die zur Erhitzung und Ausdehnung des Dampfes nöthige Wärmemenge ist = X + Y; bei der Abkühlung des Dampfes fehlt der Druck des Embolus, der Dampf kühlt sich ohne (oder bei weit geringerem) Aufwand von mechanischem Effekte ab; er giebt die Wärmemenge = X zurück. Mit jedem Kolbenlaufe also ist ein Wärmeverlust = Y verbunden, oder: die Leistung der Maschine ist an

tem Volumen um 1° erhöht, $= \frac{0,000347}{1,421} = 0,000244$ Grad. Es ist folglich die Differenz $(x + y) - x$ oder $y = 0,000347 - 0,000244 = 0,000103$ Grad Wärme, durch deren Aufwand das Gewicht $P = 1033$ Gramme, auf $h = {}^1/_{274}$ Centimeter, gehoben wurde. Durch Reduktion dieser Zahlen findet man nun

$$1^0 \text{ Wärme} = 1 \text{ Grm. auf} \left\{ \begin{array}{l} 367^m \\ 1130 \text{ par. F.} \end{array} \right\} \text{Höhe.}$$

Das nemliche Resultat wird erhalten, wenn man statt der atmosphärischen Luft eine andere einfache oder zusammengesetzte Gasart der Berechnung unterlegt.[1] Das Gesetz „Wärme = Mechanischer Effekt" ist unabhängig von der Natur einer elastischen Flüssig-

[1] Mit anderen Worten heisst dieses: Wenn die Wärmecapacität der atmosphärischen Luft bei constantem Drucke = 1, die eines anderen Gases, auf das Volumen bezogen, = S, der Exponent des Verhältnisses der Capacitäten unter gleichem Druck und unter gleichem Volumen bei der atmosph. Luft = 1,421, derselbe Exponent einer andern Gasart = K, so muss, unter der Voraussetzung eines gleichen Ausdehnungs-Coëfficienten,

$$S \times \frac{K - 1}{K} = \frac{0,421}{1,421}.$$

Diese Consequenz stimmt mit den Angaben *Dulongs's* überein. Nach *D.* ist bei der Kohlensäure S = 1,175, K = 1·338, und es ist $1,175 \times \frac{0,338}{1,338} = \frac{0,421}{1,421}$. Bei dem ölbildenden Gase ist S = 1,531, K = 1,240, und es ist wiederum nahe genau $1,531 \times \frac{0,240}{1,240} = \frac{0,421}{1,421}$. — Auch *Dulong's* berühmtes Gesetz: dass alle elastischen Flüssigkeiten, wenn sie *ceteris paribus* um gleiche Volumentheile zusammengedrückt werden, gleiche absolute Wärmemengen entbinden, ergiebt sich als nothwendige Folgerung aus dem allgemeinen Satze „Wärme = mechanischer Effekt."

keit, die nur als Werkzeug dient, um die Umwandlung der einen Kraft in die andere zu bewerkstelligen.

Von den verschiedenen, unter sich wenig differirenden Angaben über die Verbrennungswärme des Kohlenstoffs, kommt die von *Liebig* der Wahrheit wohl am nächsten. *L.* findet aus direkten Versuchen *Dulong's*, nach dessen Tode von *Arago* publicirt, die Wärmemenge, welche 1 Grm. zu Kohlensäure verbrennender Kohlenstoff entwickelt, durch Rechnung = 8558°. (Annalen der Chemie von *Wöhler* und *Liebig* Bd. LIII. S. 73.)

Durch Verbrennung von 1 ℔ Kohlenstoff müssen sich also 9,670,000 ℔ auf die Höhe von 1 par. F. heben lassen. Dieser Effekt würde erzielt werden, wenn jeder Wärmeverlust vermieden werden könnte. So wenig aber eine gegebene Menge von Chlor, Metall und Sauerstoff, ohne Bildung eines Nebenproduktes, in chlorsaures Salz sich verwandeln lässt, so wenig können wir eine gegebene Wärmemenge als Ganzes in Bewegung umsetzen.

Es ist eine Aufgabe der Technik, den ungewünschten Effekt der Verbrennung, die Wärmeentbindung nach aussen, im Verhältniss zum nutzbaren mechanischen Effekte möglichst klein zu machen. In den ersten Watt'schen Maschinen war bei gleicher Leistung, nach *John Taylor*, der Kohlenverbrauch 17mal grösser als im Jahre 1828.

Derzeit können in den vorzüglichsten und unter den günstigsten Umständen arbeitenden Maschinen mit 1 ℔ Steinkohlen circa 1/2 Million ℔ 1' hoch gehoben

werden. Während demzufolge das Maximum des Nutzeffektes 5—6 proc. vom Totalaufwande beträgt, geben dagegen viele Apparate, namentlich Locomotiven, kein volles Procent Nutzeffekt.

Kräftigere Leistung liefern die Geschütze. Rechnet man, dass einer 24pfündigen Kugel mittelst 8 ℔ Pulver, in welchem 1 ℔ Kohle enthalten ist, eine Geschwindigkeit von 1500′ ertheilt wird, so beträgt der mechanische Effekt etwas über 9 proc. des aufgewendeten Kohlenstoffes. Es erhitzt sich aber auch bekanntlich ein scharfgeladenes Geschütz mit gleicher Pulverladung weniger stark, als ein blind geladenes.

Angenommen die ganze Erdrinde könnte auf ringsum gestellten Säulen in die Höhe gehoben werden, so müsste zur Hebung der unermesslichen Last ein ungeheures Quantum Wärme verwendet werden.

Wenn es nun einleuchtet, dass die Volumens-Vermehrung des Erdkörpers, gleich der jeder anderen Masse, mit dem „latent werden" einer entsprechenden Wärmemenge verbunden ist, so ist auch klar, dass bei der Volumens-Verminderung eine gleiche Wärmemenge wieder „frei" werden muss. Was aber von der Erdrinde im Ganzen gilt, das muss offenbar auch auf jeden Bruchtheil eine Anwendung finden. Bei der Hebung des kleinsten Gewichtes muss Wärme (oder eine andere Kraft) latent werden; bei der Senkung des Gewichtes muss diese Wärme wieder zu Tage kommen.

Es wurde so eben gefunden, dass zur Hebung eines Gramme-Gewichtes auf 1130′ ein Aufwand von 1⁰ Wärme erforderlich ist; es folgt daraus: dass ein Gramme-Gewicht, welches 1130′ hoch herabsinkt, durch Stoss oder Reibung 1⁰ Wärme entbinden muss.

Durch herkömmliche Voraussetzungen über das Wesen einer bewegenden Kraft und einer Bewegung sind die Physiker verhindert, diese offenbare und in der Erfahrung fest begründete Thatsache einzusehen. *Newton* Princ. I. Def. VIII. erklärt ausdrücklich die Schwere für eine *causa mathematica*, und warnt, sie für eine *causa physica* zu nehmen.[1] Diese wichtige Unterscheidung wurde aber von den Nachfolgern *Newton's* vernachlässigt; die Schwere oder die Ursache der Beschleunigung wurde für die Ursache der Bewegung genommen und damit eine Entstehung von Bewegung ohne Aufwand von Kraft statuirt, sofern beim Fallen eines Gewichtes von der Schwere nichts aufgewendet wird. In nothwendiger Consequenz mit ihrer Entstehungsweise liess man eine gegebene Bewegung nach Umständen wieder in ihr Nichts zurücksinken.[2]

1 Die *causa mathematica Newton's in spec.* die Schwerkraft wird auf die Zeit bezogen; sie ist die Ursache oder das Mass der *Beschleunigung*. Heisst die Kraft v, die Zeit t, die Geschwindigkeit c, so ist $v = \frac{dc}{dt}$. Die Fallkraft dagegen bezieht sich auf den Fallraum; sie ist die *causa physica*, die Ursache oder das Mass der *Bewegung*. Heisst die Kraft v, die Masse m, die Geschwindigkeit c, so ist $v = m c^2$.

2 Der mathematische Ausdruck für dieses zweite Paradoxon ist das sog. *Cartesische Mass der Kräfte*. $(v = m c)$.

Es finden sich hier also zwei contradictorische Gegensätze: Entweder, eine gegebene Bewegung wird bei ihrem Verschwinden zu Null werden, oder aber sie wird eine ihr gleiche unzerstörliche Wirkung haben. Wenn wir uns unbedingt für das letztere entscheiden, so berufen wir uns auf die Denkgesetze und auf die Erfahrung.

Schöpfen wir aus einem Bassin, aus einem See oder aus dem Weltmeere ein Glas Wasser, so werden wir die hiedurch bedingte Abnahme der grossen Wassermenge nicht wahrnehmen können. Wenn man aber zugeben wollte, dass die Gewässer durch Entziehung einiger Unzen Flüssigkeit keine Substanz-Verminderung erfahren würden, so müsste nothwendig gefolgert werden, dass diese Unzen aus dem Nichts erschaffen werden —, und dem Meere zurückgegeben, wiederum zu Nichts verschwinden könnten.

Der gleiche Schluss gilt für die Kräfte. Wir wollen also fragen: ist die bewegende Kraft, die einem 15′ hoch auf den Erdboden herabfallenden Gewichte die Geschwindigkeit von 30′ ertheilt, eine constante? Hierauf pflegt man zu antworten: die Ab- und Zunahme der Gravitation darf bei so geringen Höhen füglich ausser Acht gelassen werden; also „Ja“. Wir sagen „Nein“. Wenn die Kraft constant wäre, so müsste sie in einer entsprechenden Zeit eine beliebig grosse Bewegung hervorbringen können; dazu fehlt aber viel. Die Geschwindigkeit, welche ein gegen die Erde fallendes Gewicht erlangen kann, hat ein Maximum; es beträgt dasselbe 34450′ in 1 Sek.; mit dieser Geschwin-

digkeit G wird eine aus unendlicher Entfernung herabfallende Masse m auf der Oberfläche der Erde T anlangen. Die aus dem totalen räumlichen Abstande der Massen T und m resultirende bewegende Kraft, oder die totale Fallkraft von m ist also $= m\,G^2$. Die aus einem partialen Abstande der Massen resultirende partiale Kraft ist ein leicht zu berechnender Bruchtheil der totalen Kraft. Für terrestrische Höhen [1] ist der Zähler dieses Bruches der Fallraum, der Nenner der Erdhalbmesser. Durch Herabfallen der Masse m von 15′ Höhe wird also eine Bewegungsgrösse erhalten $= m\,G^2 . \frac{15}{19609050}$, oder es ist die Geschwindigkeit, mit der m auf dem Boden anlangt $= G . \sqrt{\frac{15}{19609050}}$.

Wenn das Gewicht aus unendlicher Höhe bis auf eine Entfernung von 15′ gegen die Erde herabgefallen ist, so sind $\frac{1299999}{1300000}$ der totalen Fallkraft verwendet worden; $\frac{1}{1300000}$ dieser Kraft ist noch übrig, und unter dem Aufwande dieser verhältnissmässig allerdings sehr kleinen Kraft wird die verhältnissmässig ebenso kleine Wirkung, die Bewegung von m mit 30′ Geschwindigkeit, erzielt. Es ist also klar, dass die Fallbewegung

[1] Allgemein ist der Zähler die Fallhöhe, der Nenner aber das Produkt der anfänglichen Entfernung der Schwerpunkte beider Massen in die übrig bleibende Entfernung derselben, den Erdhalbmesser als Einheit des Längenmasses gesetzt. Ein Gewicht, das auf der Höhe h zu fallen beginnt, hat auf der Höhe h′ die Geschwindigkeit $= G . \sqrt{\frac{h - h'}{h . h'}}$.

keine Ausnahme des axiomatischen Satzes der Proportionalität von Bewegung und Kraftaufwand begründet. Null ist der Kraftaufwand blos dann, wenn ein Gewicht nur drückt und nicht zugleich sich senkt. Eine *constante* Kraft, eine solche, welche Wirkung äussert, ohne abzunehmen, giebt es für den Physiker nicht. —

Die Verwandlung von mechanischem Effekt in Wärme lehrt uns allenthalben die Erfahrung. Die hieher einschlagenden Thatsachen, die Wärmeentwicklung bei Stoss und Reibung, sind alt und längst bekannt; sind sie aber darum minder beweiskräftig? Man gehe und beobachte die Erwärmung der grossen Mühlsteine und des Mehles in der Mahlmühle, die Erwärmung der mächtigen Läufer und des Oelsamens in der Oelmühle, der Farbhölzer in der Farbmühle, die ewige Wärmeentwicklung an der Axe aller bewegten Räder; man erinnere sich der Rumford'schen Versuche! Ueberall die gleiche Erscheinung: endlose Wärmeentwicklung unter Aufwand von mechanischem Effekt.

Der Verfasser stellte in einer Papierfabrik an vier Holländern Beobachtungen an. In jedem Holländer befanden sich circa 80 ℔ Papiermasse und 1200 ℔ Wasser. Die Temperatur des Breies stieg vom Einsetzen an fortwährend. Die Umgebung zeigte 15° Wärme; in 32 bis 40 Minuten stieg die Wärme des Breies von 14° auf 16°. Die beobachtete höchste Temperatur, welche sich mehrere Stunden lang bis zum Ableeren gleichförmig erhalten hatte, war in einem Holländer = 30°. Rechnet man nun, dass durch eine

Pferdekraft in einer Minute 27000 ℔ 1′ hoch gehoben werden, so ist die Erwärmung von 1280 ℔ Wasser (nicht gerechnet die des Apparates) um 1° in 16 Minuten, das Aequivalent für 3.16 Pferdekräfte, was mit der schätzungsweisen Bestimmung des Technikers, dass zum Betrieb eines Holländers ein Totalaufwand von circa 5 Pferdekräften erforderlich sei, hinlänglich genau übereinstimmt. Wird nun der mechanische Effekt, den die 5 Pferde liefern, in der Maschine zu Null? Die Thatsache spricht: er wird zu Wärme.

Die wichtigsten physikalischen Sätze, welche sich auf die Umwandlung der Bewegung in Wärme beziehen, sind in Kürze folgende:

1. Eine negative Bewegung ist, wie eine negative Materie, eine imaginäre Grösse. Die Vernichtung einer positiven Bewegung durch eine negative ist ein Paradoxon.

2. Wie das Quantum einer Materie durch das absolute Gewicht, so wird das Quantum einer Bewegung durch das Produkt der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit bestimmt. Der Cartesische Satz: Kraft = dem Produkt der Masse in die Geschwindigkeit, ist falsch und bereits von *Leibnitz* widerlegt.

3. Wie sich Materien von entgegengesetzter Qualität, eine elektropositive Basis und eine elektronegative Säure, neutralisiren, so heben sich Bewegungen von entgegengesetzter, von positiver und negativer Richtung, zusammen auf. Das in veränderter Qualität, aber in unveränderter Quantität, fortbestehende Gegebene ist dort das Neutral-Salz, hier die Wärme.

4. Das Verhältniss, in welchem die Quanta der sich neutralisirenden Materien oder Bewegungen zu einander stehen, ist in der Regel nicht das der Gleichheit; es hängt dasselbe vielmehr von dem Quale dieser Objekte ab. Säure und Basis neutralisiren sich, wenn die Quanta ihren Mischungsgewichten, — Bewegungen von entgegengesetzter Richtung aber, wenn die Quanta ihren Geschwindigkeiten proportional sind. Bei der Neutralisation und bei der Produktion der Bewegungen spielt die Geschwindigkeit die Rolle des Mischungsgewichtes. — In der Mechanik wird dieses Gesetz unter dem Namen: „Princip der virtuellen Geschwindigkeiten" aufgeführt.

IV.

Eine vierte Erscheinungsform der physischen Kraft ist die *Elektricität*. Die Reibungs- und die Vertheilungselektricität wird unter dem Aufwande von mechanischem Effekt erzeugt.

Wir haben vor uns einen Elektrophor von idealer Vollkommenheit. Der Deckel hat das Gewicht P und befindet sich auf der Höhe h ausserhalb der Wirkungssphäre der Unterscheibe. Ein angebrachtes Gegengewicht hält dem Deckel, während er auf und absteigt, die Balance. Mag nun die Unterscheibe elektrisirt sein oder nicht, so kann, in sofern von der Reibung u. s. w. abgesehen wird, der Deckel fortwährend auf und ab bewegt werden, ohne Aufwand von mechanischem Effekt, unter der Bedingung, dass dem Deckel keine elektrischen Effekte entzogen werden.

Anders verhält sich die Sache wenn der Elektrophor arbeitet. Wird der Deckel auf die nicht elektrisirte Basis herabgeführt, so ist das gewonnene Produkt des balancirenden Gegengewichtes in seine Höhe = P h; ist der Kuchen elektrisch, so wird der herabsteigende Deckel angezogen, das gewonnene Produkt muss $>$ P h werden; es sei = P h + p. Auf der Unterscheibe liegend ist der Deckel im Stande einen elektrischen Effekt auszuüben; dieses ist geschehen, derselbe ist bestimmt worden und = z gefunden. Jetzt ist die Anziehung noch verstärkt und zur Hebung des Deckels bedarf es *eines noch grösseren* Gegengewichtes; das Produkt desselben in seine Höhe wird $>$ P h + p; es sei = P h + p + x. Auf h erhalten wir den zweiten el. Effekt z' u. s. f. Bei jeder Senkung ist nun das gewonnene Produkt = P h + p, bei jeder Erhebung aber das verlorene Produkt = P h + p + x. Während wir also jedesmal einen mechanischen Effekt = x aufwenden, gewinnen wir den el. Effekt z + z'. So ist folglich:

$$x = z + z'.$$

Der Schluss ist einfach. Aus Nichts wird Nichts. Die Elektricität des Harzkuchens kann, da sie sich unvermindert erhalten hat, die fortlaufende Summe elektrischer Effekte nicht hervorgebracht haben; der bei jedem Turnus verschwundene mechanische Effekt kann nicht zu Null geworden sein. Was bleibt übrig, wenn man sich nicht in einem doppelten Paradoxon gefällt? nichts, als auszusprechen: der mechanische Effekt ist in Elektricität verwandelt

worden.[1] Die el. Unterscheibe, wie der Hebel, die Retorte, ist nichts weiter als ein Instrument, dessen

[1] Aus der näheren Betrachtung der Grösse x in der Aequation $x = z + z'$, ergibt sich, dass die Grösse der el. Kraft, oder das Quantum der Elektricität, proportional ist dem Quadrate der el. Spannung, oder dem Quadrate der sog. Dicke der el. Schicht.

Bew. Die gegebene — el. Spannung des Harzkuchens sei $= S$, die Spannung der + E des Deckels, nach Ableitung seiner — E, $= \frac{1}{q} S$ (wo q eine Constante, die mit der wachsenden Vollkommenheit des Apparates sich der Einheit nähert). Die Grösse der Anziehung oder Abstossung zweier el. Körper ist nach den direkten Messungen *Coulomb's* gleich dem Produkte ihrer Spannungen. Die Anziehung zwischen der — el. Harzscheibe und dem + el. Deckel ist also bei der Berührung $= \frac{1}{q} S^2$ oder es ist dieselbe dem Quadrate der gegebenen Spannung des Kuchens proportional. Da nun die Grösse der Anziehung in jedem Punkte der Bahn umgekehrt proportional ist dem Quadrate der Entfernung, so ist der mechanische Effekt $p + x$, welcher aufgewendet werden muss, um den aufliegenden + el. Deckel aus der — el. Atmosphäre zu entfernen und auf h zu heben, der Grösse der Anziehung, oder auch S^2 direkt proportional. Nun sieht man ein, dass sowohl das Verhältniss $p : x$, als das von $z : z'$, von der Grösse S unabhängig ist, dass also $p + x$ sowohl als z, und $z + z'$ sowohl als z', dem Quadrate von S, oder dem Quadrate von $\frac{1}{q} S$ proportional ist; da aber $\left(\frac{1}{q} S\right)^2$ gleich ist dem Quadrate der Spannung der + E des Deckels auf h, z' aber gleich dem el. Effekt, der dem Deckel auf h zukommt, so verhält sich der Effekt oder die Grösse der el. Kraft, wie das Quadrat der Spannung, und es ist

die Grösse der el. Kraft, bei stattfindender gleichförmiger Ausbreitung, = dem Produkte der Oberfläche in das Quadrat der Spannung.

sich der Experimentator bedient, eine Metamorphose zu bewerkstelligen.

Ein in Schwingung versetztes Pendel macht, wenn man Reibung und Luftwiderstand beseitigt, gleichförmige Excursionen. Schwingt aber ein metallenes isolirtes Pendel an einem elektrisirten Nichtleiter, z. B. an einem el. Harzkuchen, vorbei, und entzieht man dem Pendel abwechselnd in der Anziehungssphäre des elekt. Körpers einen $\mp$, in der Entfernung von demselben einen $\pm$ Funken, so wird durch die jetzt eintretenden Anziehungsverhältnisse der Elongations-Winkel fortwährend kleiner. Der als Pendelschwingung gegebene mechanische Effekt wird successiv in el. Effekte verwandelt.

Die Erzeugung der Reibungs-Elektricität erfolgt ebenfalls unter dem Aufwande von mechanischem Effekt. Die sich berührenden Stoffe halten sich mit den gebildeten entgegengesetzten Elektricitäten fest; die zur Erregung el. Effekte nothwendige Trennung dieser Stoffe kann ohne Aufwand an mechanischem Effekte nicht vor sich gehen. Bekannt ist auch, dass bei der Bildung von Reibungs-Elektricität die Reibungswärme fehlt.

Bei der „Mittheilung“ der Elektricität kehren sich die so eben erörterten Anziehungsverhältnisse um, und es wird unter einem Aufwand von elektrischer Kraft mechanischer Effekt erzeugt. Bei jeder Mittheilung wird ein Theil der Elektricität, wie die Bewegung beim unelastischen Stosse, neutralisirt. Die wichtigsten hieher gehörigen Gesetze sind dieselben, wie sie

schon bei der Neutralisation der Bewegung S. 37 aufgeführt wurden. Was bei der Bewegung „Masse und Geschwindigkeit“, das ist bei der Elektricität „Oberfläche und Spannung.“ Die Dynamik der Bewegung kann sich indessen auf die Betrachtung zweier Kräfteformen, der Bewegung und der Wärme, beschränken und ist desswegen in ihrer Darstellung einfacher, als die der Elektricität, welche drei Kräfte zugleich ins Auge zu fassen hat.

Der Elektricitäts-Erzeugung ganz analog lässt sich der Magnetismus unter Aufwand von mechanischem Effekt durch Vertheilung erregen. Der gegebene Magnet spielt die Rolle des Elektrophors; durch ein Magnetischwerden der zuvor indifferenten Stahlstange treten ganz dieselben Anziehungsverhältnisse ein, wie sie oben in dem Beispiele vom Elektrophor genauer betrachtet wurden. Das Resultat ist ein gleiches wie dort: Aufwand von mechanischem Effekt, Erzeugung einer

{ elektrischen
magnetischen } Spannung.

V.

Den räumlichen Abstand der Masse, *in specie* der Erde und eines Gewichtes, haben wir oben als eine Kraft kennen gelernt. Ein Gramme-Gewicht in unendlicher[1] Entfernung — oder wie wir kürzer sagen

[1] Der Begriff einer unendlichen Entfernung ist hier im physischen und nicht im mathematischen Sinne zu nehmen, und unter

wollen: in mechanischer Trennung von der Erde, stellt eine Kraft dar; durch den Aufwand dieser Kraft, d. h. durch die mechanische Verbindung beider Massen, wird eine andere Kraft erzeugt: die Bewegung eines Gramme-Gewichtes mit der Geschwindigkeit von 34450′; durch den Aufwand dieser Bewegung lässt sich ein Gramme Wasser um 17356° erwärmen.

Die Erfahrung lehrt nun, dass derselbe Effekt, wie bei der mechanischen Verbindung, eine Wärmeentwicklung nemlich, erzielt wird durch die chemische

demselben „die physische Grenze der Anziehungssphäre" der Erde zu verstehen. Eine solche Grenze ist allerdings mathematisch nicht vorhanden, es darf aber bei physikalischen Untersuchungen von ihr mit eben demselben Rechte als von einer Grenze der elektrischen Atmosphäre etc. gesprochen werden. Setzt man beispielsweise statt einer unendlichen Entfernung von der Erde eine von 10,000 Erdhalbmessern, so genügt eine solche für die hier betrachteten Fälle vollkommen. — Die mathematische Exposition der Gravitations-Erscheinungen muss mit der Betrachtung entweder eines unendlich grossen oder eines unendlich kleinen Raumes beginnen und zu concreten messbaren Räumen sofort entweder ab- oder aufsteigen. Keine dieser beiden Methoden kann die andere überall ersetzen. Vom physikalischen Standpunkte aus betrachtet hat aber die Methode, mit dem unendlich Grossen zu beginnen, den entscheidenden Vorzug, dass die wahre Natur der Anziehung, ihre in die Entfernung abnehmende Intensität nemlich, von vorn herein in den Begriff aufgenommen ist. Nur auf diese Weise lässt sich der Zusammenhang, die innere Einheit mechanischer, elektrischer und chemischer Processe zur völligen Klarheit bringen. Die andere Methode beginnt mit der Vernichtung des physischen Begriffes der Anziehung, indem sie die Anziehung als eine — in dem unendlich kleinen Raume — constant wirkende Grösse betrachtet. (Vergl. oben S. 34.)

Verbindung gewisser Materien. Das chemisch-getrennt Vorhandensein, oder kürzer:

die chemische Differenz der Materie ist eine Kraft.

Die chemische Verbindung von 1 Gramme Kohlenstoff und 2,6 Gramme Sauerstoff ist äquivalent der mechanischen Verbindung von $^1/_2$ Gramme Gewicht mit der Erde; durch beide werden 8500° Wärme erhalten. Die chemische Verbindung von 1 Gramme Wasserstoff (die Verbrennungswärme desselben nach *Dulong* = 34743° angenommen) mit 8 Gramme Sauerstoff ist äquivalent der mechanischen Verbindung von 2 Gramme Gewicht mit der Erde; die Wärmeentwicklung bei beiden ist = 34700°.

Wenn für kleine Raumabstände und Geschwindigkeiten die Energie der mechanischen Effekte, den ausgezeichneteren chemischen Kräften gegenüber, sehr in den Hintergrund treten, so finden wir umgekekrte Verhältnisse, wenn wir die Blicke über unsere Umgebungen hinweg, den Himmelsräumen zuwenden.

Unter allen irdischen Stoffen liefert das Knallgas bei seiner Verbindung die grösste Wärmemenge; 1 Grm. giebt bei der Umwandlung in Wasser 3850°; 1 Grm. Kohlen- und Sauerstoffgemenge giebt 2370°. Da aber 17356° Wärme aufgewendet werden müssen, um 1 Grm. Gewicht aus der Anziehungssphäre der Erde zu entfernen, so folgt daraus, dass auf Erden keine chemische Differenz existirt, durch deren Aufwand soviel Wärme gewonnen würde, als zur mechanischen Trennung der neuentstandenen Verbindung von dem Erd-

körper erforderlich ist. Dagegen werden auf dem Monde 900° Wärme hinreichen, um ein Grm. Gewicht seinem Bereiche zu entführen.

Die Erde bewegt sich in ihrer Bahn mit einer mittleren Geschwindigkeit von 93700′. Um diese Bewegung durch Verbrennung von Kohlenstoff zu erzeugen, müsste das 15fache Gewicht der Erde als Kohle verbrannt werden, und die dadurch entbundene Wärmemenge würde wiederum hinreichen, um ein der Erde gleich schweres Quantum Wasser auf 128000° zu erhöhen; ein kleiner Theil der Kraft, mit der die Erde sich in ihrer Bahn bewegt, wäre mithin im Stande, allen mechanischen Zusammenhang der irdischen Massentheile völlig aufzuheben. — Angenommen aber, eine der Erde gleich schwere Masse liege ruhend auf der Sonnenoberfläche, so wäre um diese Last in die Entfernung zu heben, in welcher unsere Erde sich befindet und um ihr hier die Geschwindigkeit von 93700′ zu ertheilen, (die Entfernung der Erde = 215 Sonnenhalbmesser gesetzt) ein noch 429mal grösserer Kraftaufwand oder ein 6435faches Gewicht der Erde an Kohlenstoff erforderlich u. s. w.

Da die chemischen Kräfte zur Hervorbringung solcher Effekte als unzureichend erscheinen, so kann gefragt werden, wie man sich einen Kraftaufwand vorstellen könne, der die planetarischen Bewegungen einstens möchte hervorgebracht haben? Angenommen: die Erde sei „am Anfang“ 430 Sonnenhalbmesser vom Mittelpunkte der Sonne entfernt und ruhend gewesen und von hier aus 215 Halbmesser gegen die Sonne bis

in ihre nunmehrige Entfernung herabgefallen, so müsste sie durch diesen Fall ihre jetzige Bewegungsgrösse erlangt haben. Das nemliche lässt sich von allen Planeten sagen. Die grossen Axen ihrer Bahnen geben das Mass für die ursprünglich gegebene Entfernung der zuerst als ruhend gedachten Himmelskörper; die grossen Axen sind der Ausdruck für die von dem Schöpfer jedem Planeten gegebene Grösse des mechanischen Effektes; sie stehen fest wie die Vergangenheit.

Fragt man, warum die zuerst als ruhend angenommenen Planeten nicht senkrecht auf die Sonne herabgefallen sind, warum die Planeten fast alle mit geringer Excentricität ihrer Bahnen in einer und derselben Ebene und in der nemlichen Richtung um die Sonne laufen u. dgl. m., so müssen abermals Hypothesen und immer neue Hypothesen die Antwort sein, denn:

> Das eben ist der Fluch der bösen That,
> Dass sie, fortzeugend, immer Böses muss gebären. —

Merkwürdiger Weise giebt es auch Verbindungen, deren Trennung unter Entwicklung von Wärme und mechanischem Effekte vor sich geht. Solche Verbindungen entstehen niemals für sich allein, sondern erfolgen nur in Gemeinschaft mit chemischen Processen, welche von einer Wärmeentbindung begleitet sind. Wir müssen annehmen, dass die Wärme, welche bei der einen Verbindung entsteht, nach chemischer Ausdrucksweise: *im status nascens*, in die detonirende Verbindung theilweise eingeht. Wird eine gleiche Menge Chlorgas das einemal mit einer Salmiak- das

anderemal mit einer Ammoniakauflösung vereinigt, so ist, wie der Verfasser fand, die Wärmeentwicklung im letzten Falle viel beträchtlicher, als im ersten. Den Grund hievon müssen wir zum Theil darin suchen, dass bei der Bildung des Chlorstickstoffs Wärme „latent“ wird, die bei der Zersetzung als freie Wärme und als mechanischer Effekt wieder erscheint.

Das was Chlor und Wasserstoff in chemischer Trennung, das ist Chlor und Stickstoff in chemischer Verbindung: eine Kraft. Vergleichen wir damit gewisse mechanische Verhältnisse: Ein gehobenes Gewicht ist eine Kraft; ein gesenktes Gewicht, das unter Aufwand von einem weiteren mechanischen Effekte eine starke Feder niedergedrückt hat und nach Entfernung des Widerstandes in die Höhe geschleudert wird, stellt in seinem tiefsten Stande ebenfalls eine Kraft dar. Die Feder aber und den Widerstand kennen wir bei der chemischen Verbindung nicht, denn die Elasticität des freigewordenen Chlors und Stickstoffs lässt sich der Spannung der Feder nicht vergleichen, insofern diese Elasticität Folge und nicht Ursache ist von der bei der Zersetzung entwickelten Kraft.

Fasst man eine Zink- und eine Kupferplatte an isolirenden Stäben, bringt sie mit einander in Berührung und trennt sie sofort wieder, so hat die erste Platte eine + die zweite eine — elektrische Spannung erhalten. Vor der Berührung waren die Metalle neutral, nach der Berührung sind sie entgegengesetzt

elektrisch; um die Trennung zu bewirken, ist also ein Aufwand von mechanischem Effekt, wie bei der Erregung von Vertheilungs-Elektricität durch den Elektrophor, erforderlich. Andere Verhältnisse treten ein, wenn die Platten vereinigt bleiben. An die Stelle der mechanischen Kraft tritt hier eine chemische; unter dem Aufwande der chemischen Trennung von Metall und Sauerstoff entsteht eine Summe von Wirkungen, wie wir sie bereits im Einzelnen betrachtet haben. Mittelst des Hebels verwandeln wir eine gegebene Fallkraft in eine andere, wir opfern einen gegebenen räumlichen Abstand auf, um einen andern räumlichen Abstand zu erzeugen. Der wunderbare Hebel des Chemikers ist die Säule; die Reduktionserscheinungen und die Entwicklung von Wärme und mechanischem Effekt, welche wir als Wirkungen der Säule auftreten sehen, verdanken ihre Entstehung dem Aufwande einer Kraft, dem gegebenen Abstand von Metall und Sauerstoff, von Salz und Säure. Die Gleichheit von Ursache und Wirkung wird durch den *Grove'schen* Gasapparat zur unmittelbaren Anschauung gebracht.

Fassen wir das Resultat bisheriger Untersuchungen in einem allgemeinen Satze zusammen, so erhalten wir wieder das Eingangs aufgestellte Axiom. Es heisst:

Bei allen physikalischen und chemischen Vorgängen bleibt die gegebene Kraft eine constante Grösse.

Zur Uebersicht der bisher betrachteten Hauptformen der Kräfte diene folgendes Schema:

I.	**Fallkraft**		*mechanische Kräfte, mechanischer Effekt.*
II.	**Bewegung**		
	A. *einfache.*		
	B. *undulirende, vibrirende.*		
III.	**Wärme**	IMPONDERABILIEN.	
IV.	**Magnetismus**		
	Elektricität, Galvanischer Strom.		
V.	**Chemisches Getrenntsein** gewisser Materien.		*chemische Kräfte.*
	Chemisches Verbundensein gewisser -anderer Materien.		

An die Aufstellung von fünf Hauptformen der physikalischen Kraft reiht sich die Aufgabe, die Metamorphosen dieser Formen durch fünfundzwanzig Experimente zu beweisen. Aus der Zahl der einfachsten und wichtigsten Thatsachen stellen wir hier folgende übersichtlich zusammen:

1. Die Verwandlung einer *Fallkraft* in eine zweite: durch den Hebel;

2. einer *Fallkraft* in *Bewegung:* durch den freien Fall und durch den Fall auf vorgeschriebenen Wegen.
3. Die Verwandlung einer *Bewegung* in eine zweite: vollständig durch den centralen Stoss gleich grosser elastischer Massen, unvollständig durch Stoss und Reibung;
4. einer *Bewegung* in *Fallkraft:* bei aufwärtsgehender Richtung der Bewegung. Alternirend erfolgt eine Verwandlung beider Kräfte: bei den Pendelschwingungen und den Centralbewegungen der Himmelskörper.

5 & 6. Verwandlung von *mechanischem Effekt* in *Wärme:* bei der Compression elastischer Flüssigkeiten, bei Stoss und Reibung; die Aufsaugung des Lichtes besteht in einer Verwandlung von vibrirender Bewegung in Wärme.

7 & 8. Die Verwandlung der *Wärme* in *mechanischen Effekt* erfolgt bei der Ausdehnung der Gasarten unter einem Druck, in der Dampfmaschine; in vibrirende Bewegung: beim Leuchten und Strahlen erhitzter Körper.

9. Verwandlung der gegebenen *Wärme* in eine andere: durch Leitung;
10. von *Wärme* in *chemische Differenz:* wenn Verbindungen durch Wärme zerlegt werden, die unter Wärmeentwicklung eingegangen wurden; z. B. die Verbindungen von Schwefelsäurehydrat mit Wasser, von Kalkerde mit Wasser.
11. Die Verwandlung von *chemischer Differenz* in *Wärme* erfolgt bei der Verbrennung.

12. 13. 14. Die Verwandlung *chemischer Differenz* in den *galvanischen Strom* und wieder in eine andere *chemische Differenz*, sowie die des *Stromes* in *chemische Differenz*, bei den Actionen der Säule.

15. 16. 17. Die Verwandlung der *Elektricität* in *Wärme* und *mechanischen Effekt:* bei den Glühungserscheinungen des Leitungsdrahtes, dem elektrischen Funken, den elektrischen und elektromagnetischen Anziehungsbewegungen, den elektrischen Schlägen, insbesondere bei dem Blitzstrahle.

18. Eine theilweise Verwandlung eines *Stromes* in einen anderen giebt der inducirte Strom.

19. Die *Wärme* wird in *Elektricität* verwandelt: bei den Erscheinungen der Thermoelektricität und bei der Kälteerzeugung in der galvanischen Kette nach *Peltier*.

20. 21. Bei der Erregung der Elektricität durch Reibung und Zertheilung wird *mechanischer Effekt* in *Elektricität* verwandelt, und endlich erfolgt

22—25. die Verwandlung von *mechanischem Effekt* in *chemische Differenz*, und die der *letzteren* in den *ersteren:* mittelbar durch Umwandlung der gegebenen Kraft in Elektricität und in Wärme.

Vorurtheile, sanktionirt durch Alter und Verbreitung, die ersten Sinneseindrücke mit ihrem zweideutigen und doch so bestechenden Zeugnisse, nicht die Naturerscheinungen treten in Widerspruch mit den aufgestellten Sätzen. Gegen jene appelliren wir an die Geschichte aller Wissenschaften.

Während wir der *Bewegung* das Recht zu Sein,

die Substanzialität, *alta voce* vindiciren, müssen wir der *Wärme* und der *Elektricität* eine Materialität unbedingt absprechen. Denn wäre es nicht gar zu ungereimt, das Wesen der Bewegung und des räumlichen Abstandes der Massen in einem Fluidum suchen, oder ein abwechselnd bald materiell — bald immateriell — Sein eines und desselben Objektes statuiren zu wollen?

Sprechen wir es aus, die grosse Wahrheit: „Es giebt keine immateriellen Materien!"

Wohl fühlen wir, dass wir mit den eingewurzeltsten, durch grosse Autoritäten kanonisirten Hypothesen in den Kampf gehen, dass wir mit den *Imponderabilien* die letzten Reste der Götter Griechenlands aus der Naturlehre verbannen wollen; aber wir wissen auch, dass die Natur in ihrer einfachen Wahrheit grösser und herrlicher ist, als jedes Gebild von Menschenhand und als alle Illusionen des erschaffenen Geistes.

Die Sonne ist eine nach menschlichen Begriffen unerschöpfliche Quelle physischer Kraft. Der Strom dieser Kraft, der sich auch über unsere Erde ergiesst, ist die beständig sich spannende Feder, die das Getriebe irdischer Thätigkeiten im Gange erhält. Bei der grossen Menge von Kraft, welche unsere Erde in den Weltenraum als wellenförmige Bewegung fortwährend hinausschickt, müsste ihre Oberfläche, ohne beständigen Wiederersatz, alsbald in Todeskälte erstarren. Das Licht der Sonne ist es, welches in Wärme verwandelt, die Bewegungen in unserer Atmosphäre bewirkt und die Gewässer zu Wolken in die Höhe hebt und die Strömung der Flüsse hervorbringt; die Wärme, welche von den Rädern der Wind- und Wassermühlen unter Reibung erzeugt wird, diese Wärme ist der Erde von der Sonne aus in Form einer vibrirenden Bewegung zugesendet worden.

Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu haschen und die beweglichste aller Kräfte, in starre Form umgewandelt,

aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Differenz erzeugen.

Diese Organismen sind die *Pflanzen*. Die Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixirt und zur Nutzniessung geschickt niedergelegt werden; eine ökonomische Fürsorge, an welche die physische Existenz des Menschengeschlechtes unzertrennlich geknüpft ist und die bei der Anschauung einer reichen Vegetation in jedem Auge ein instinktartiges Wohlgefallen erregt.

Die reducirenden Wirkungen, welche das Sonnenlicht auf anorganische und organische Substanzen ausübt, sind allenthalben bekannt. Die Reduktion erfolgt am stärksten im hellen Sonnenlichte, schwächer im Schatten, und fehlt ganz im dunkeln und beim Kerzenlichte; sie beruht nach dem Obigen auf der Umwandlung einer gegebenen Kraft in eine andere, auf der Umwandlung von mechanischem Effekt in chemische Differenz.

Die Zeit liegt nicht ferne hinter uns, wo die Streitfrage verhandelt wurde, ob die Pflanze während des Lebens chemische Urstoffe zu verwandeln, oder gar zu erzeugen im Stande sei. Thatsachen, Experimente schienen bejahen zu wollen, eine genauere Prüfung aber hat das Gegentheil gelehrt, und die Wissenschaft hat mit Sicherheit ein einstimmiges „Nein“ ausgesprochen. Wir wissen, dass die Materien, um welche eine Pflanze

zunimmt, und die, welche von der Pflanze ausgeschieden werden, in Summa den aufgenommenen Materien gleich sind. Der Baum, welcher viele tausend Pfunde wiegt, hat jeden Gran Materie von seiner Umgebung aufgenommen. Es findet in der Pflanze nur eine Umwandlung, nicht eine Erzeugung von Materie statt.

Dieser Satz bildet die verbindende Brücke zwischen Chemie und Pflanzenphysiologie; seine Wahrheit ist mehr *a priori* einleuchtend, als durch Versuche, welche überall keine Einrede zulassen würden, in den einzelnen Fällen zu erweisen. Die gleichen Gründe wie dort bestimmen uns nun, anzunehmen, dass die Pflanzen auch eine *Kraft* nur zu verwandeln, nicht aber zu erschaffen vermögen.

Die Pflanzen nehmen eine Kraft, das Licht, auf, und bringen eine Kraft hervor: die chemische Differenz. Das Gesetz des logischen Grundes nöthigt den Naturforscher, die Leistung mit dem Aufwande in Causal-Zusammenhang zu bringen. Dieser Aufwand, oder die Lichtaufnahme, ist, wie wir seit *Saussure* wissen, das nothwendige Erforderniss zu einer Leistung, zur Reduktion.

Zuerst muss nun gefragt werden, ob das Licht, welches auf lebende Pflanzen fällt, wirklich eine andere Verwendung findet, als das Licht, welches todte Körper trifft; d. h. ob die Pflanzen *ceteris paribus* durch das Licht weniger stark erwärmt werden als andere dunkle Flächen? Die Resultate, welche die hierüber im Kleinen angestellten Beobachtungen geben können, scheinen innerhalb der Fehlergrenzen solcher Versuche

zu fallen; dagegen lehrt die alltägliche Erfahrung, dass die erhitzende Wirkung der Sonnenstrahlen auf weite Flächen Landes durch nichts so sehr gehemmt wird, als durch eine reiche Vegetation, obgleich die Pflanzen, der dunkeln Farbe ihrer Blätter wegen, einen grösseren Theil des auf sie fallenden Sonnenlichtes aufnehmen müssen, als der kahle Boden. Wenn nun zur Erklärung dieser Thatsache die Ausdünstung der Pflanzen nicht ausreicht, so muss obige Frage ohne Widerspruch bejaht werden.

Die zweite Frage geht nach der Ursache der durch die Pflanzen gelieferten chemischen Differenz. Diese Differenz ist, wie oben erörtert wurde, eine physische Kraft; sie ist der bei der Verbrennung der Pflanzen gewonnenen Wärme gleich. Entsteht nun diese Kraft durch den Lebensprocess, ohne den Aufwand einer gegebenen Kraft? Die Erschaffung einer physischen Kraft, schon an und für sich selbst kaum denkbar, erscheint um so paradoxer, wenn man die Erfahrung berücksichtigt, dass die Pflanze einzig mit Hülfe des Sonnenlichtes ihre Leistung zu vollbringen im Stande ist; durch die Annahme einer solchen hypothetischen Action der „Lebenskraft“ wird jede weitere Forschung abgeschnitten, und die Anwendung der Gesetze exacter Wissenschaften auf die Lehre von den Lebenserscheinungen unmöglich gemacht; ihre Bekenner werden, gegen den Geist des Fortschrittes, der sich in der Naturforschung jetziger Zeit kund giebt, in das Chaos ungezügelter Phantasiespiele zurückgeführt. Der Verfasser glaubt daher auf das Einverständniss seiner Leser

rechnen zu dürfen, wenn er der folgenden Untersuchung als axiomatische Wahrheit den Satz unterlegt: dass während des Lebensprocesses nur eine *Umwandlung*, so wie der Materie, so der Kraft, niemals aber eine *Erschaffung* der einen oder der anderen vor sich gehe.

Zugegeben nun, dass die Erzeugung der chemischen Differenz nicht ohne entsprechenden Aufwand einer anderen Kraft statt finden kann, so entsteht die weitere Frage: ob dieser Aufwand wirklich nur in der Consumtion des Sonnenlichtes bestehe und nicht etwa aus einer anderen Quelle fliesse?

Die Vermuthung, dass die Pflanzen von ihrer Umgebung freie Wärme in sich aufnehmen und mit Hülfe derselben die chemische Differenz hervorbringen könnten, wäre allerdings eine naheliegende; allein die Erfahrung widerspricht dieser Conjectur, sofern sie lehrt, dass Wärme für sich allein niemals im Stande ist, den Reduktionsprocess zu unterhalten; es bleibt also eine Aufnahme von Licht die *conditio sine qua non* des Reduktionsprocesses. Die Fähigkeit der Pflanzen, eine Umwandlung physischer Kraft vorzunehmen, scheint somit auf die Metamorphose des Lichtes (und der Elektricität?) beschränkt.

Zur Zeit der Keimung, in der Dunkelheit und zum Theil auch während der Befruchtung nehmen die Vegetabilien Sauerstoff auf und geben ein beinahe gleich grosses Volumen Kohlensäure zurück. Die hier aufgewendete chemische Kraft muss die Erzeugung einer anderen Kraft bewirken. Welches ist nun diese Kraft?

Es lassen sich hier zwei Fälle als möglich denken. Entweder: die chemische Differenz wird in freie Wärme verwandelt, wie solches bei der Befruchtung nachgewiesen ist; oder: die Pflanzen verwenden nach Art der galvanischen Säule eine gegebene chemische Differenz zur Hervorbringung anderweitiger chemischer Processe, die eine Kraft-Consumtion bedingen, sei es nun, dass diese Processe in Trennung, oder in Verbindung von Materien bestehen. In dem letzteren Falle wird keine, oder nicht die der Oxydation des Kohlenstoffes entsprechende, Wärme in der Pflanze ausgeschieden.

Hat man die in jeder Nacht wiederkehrende Kohlensäurebildung der Pflanzen im Auge, so wird man es unwahrscheinlich finden, dass diese Organismen in Vollbringung ihrer wichtigen Aufgabe, Kraft anzuhäufen, durch die mathematisch-geographischen Verhältnisse ihres Standpunktes nicht nur nicht gefördert, sondern vielmehr geradezu gestört werden sollten. Die Pflanzen, indem sie einen Theil des im Lichte gewonnenen Kohlenstoffs in der Dunkelheit zur Wärmeausscheidung wieder verwendeten, würden bei Tage zwei Schritte vorwärts, bei Nacht einen Schritt rückwärts gehen. Zieht man in Betracht, dass vermöge des geringen Neigungswinkels der Erdaxe zur Ebene der Ekliptik, und vermöge der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde die regelmässigste Vertheilung von Tag und Nacht in die Zone der üppigsten Vegetation fällt, und dass die Sauerstoffaufnahme in der Dunkelheit für das Leben der Pflanzen nothwendig erforderlich ist, so erscheint es wahrscheinlicher, dass die während der nächtlichen

Oxydation des Kohlenstoffs gewonnene Kraft in der Pflanze ihre wichtige Verwendung finde, als dass diese Kraft in Form freier Wärme excernirt werden sollte. Fortgesetzte physiologisch-chemische Untersuchungen über das Nachtleben der Pflanzen, und genaue experimentale Bestimmungen über die Verbrennungswärme vegetabilischer Substanzen werden allein im Stande sein, über den noch dunkeln Gegenstand das gehörige Licht zu verbreiten.

Die durch die Thätigkeit der Pflanzen angesammelte physische Kraft fällt einer andern Klasse von Geschöpfen anheim, die den Vorrath durch Raub sich zueignen und ihn zu individuellen Zwecken verwenden. Es sind dieses die *Thiere*.

Das lebende Thier nimmt fortwährend aus dem Pflanzenreiche stammende brennbare Stoffe in sich auf, um sie mit dem Sauerstoff der Atmosphäre wieder zu verbinden. Parallel diesem Aufwande läuft die das Thierleben charakterisirende Leistung: die Hervorbringung mechanischer Effekte, die Erzeugung von Bewegungen, die Hebung von Lasten. Diese Leistung ist Mittel und Zweck im thierischen Organismus; sie ist Bedingung jedweden animalischen Lebensprocesses. Zwar auch die Pflanzen bringen mechanische Effekte hervor, sie bewegen und heben: offenbar ist aber, bei gleicher Zeit und gleicher Masse, die Summe der von einem Pflanzenindividuum geleisteten Effekte der thierischen Leistung gegenüber eine verschwindend kleine; während also in der Pflanze die Erzeugung mechani-

scher Effekte eine quantitativ und qualitativ sehr untergeordnete Rolle spielt, ist die Verwandlung chemischer Differenz in individuell nutzbaren mechanischen Effekt der unzertrennliche Begleiter, das charakteristische Merkmal des Thierlebens.

Die Grösse der mechanischen Leistung eines Thieres wird bequem ausgedrückt durch ein Gewicht, das mittelst dieser Leistung auf eine gewisse Höhe gebracht werden kann. Man rechnet, dass ein Pferd durch die Anstrengung seiner willkürlichen Muskeln acht Stunden lang des Tages in jeder Minute 27000 ℔ (à 500 Grm.) ein par. F. hoch zu heben im Stande ist. Für die Stunde wird die Leistung = 1'620000 ℔, für den Tag = 12'960000 ℔ auf 1' Höhe. Jede andere, momentane oder fortgesezte, Leistung eines Thieres werden wir als einen aliquoten Theil oder als ein Vielfaches der Leistung unseres Normal-Pferdes betrachten können, und was von dem einen gilt, muss auch, *mutatis mutandis*, auf das andere seine Anwendung finden.

In dem Thierorganismus wird fortwährend eine Summe von chemischen Kräften aufgewendet. Ternäre und quaternäre Verbindungen erleiden während des Lebens in ihrer Zusammensetzung die wichtigsten Veränderungen und werden grossentheils in Form binärer Verbindungen, als verbrannte Stoffe, nach kurzem Verweilen wieder ausgeschieden. Die Grösse dieser Kraft, beziehungsweise die Wärmemenge, welche durch diese Processe geliefert werden kann, ist auf experimentalem Wege keineswegs genügend eruirt; es kann jedoch hier, wo es sich hauptsächlich um Feststellung eines

Princips handelt, genügen, die Verbrennungswärme des reinen Kohlenstoffs den Rechnungen zu unterlegen, indem die so erhaltenen Zahlenwerthe, wo in Zukunft die Experimentalphysik über die kraftliefernde Wirkung der in Betracht kommenden chemischen Vorgänge genauere Data liefert, durch die einfachste Reduktion corrigirt werden können.

Die Verbrennungswärme des Kohlenstoffes setzen wir, wie oben S. 31, nach *Dulong* = 8558°, die Lasterhebung, welche der Verbrennung von 1 Gewichtstheile Kohlenstoff entspricht (siehe ebend.) = 9'670000 Gewichtstheile auf 1' Höhe.

Drückt man nun den Aufwand an chemischer Differenz, den ein Pferd zur Hervorbringung obiger Leistung machen muss, durch ein Gewicht von Kohlenstoff aus, so findet man, dass das Thier in einem Tage 1,34 ℔, in einer Arbeitsstunde 0,167 ℔, in einer Minute 0,0028 ℔ = 22,5 Gran (Nürnb. Med. Gew.) Kohlenstoff zu mechanischen Zwecken verbraucht.

Nach gangbaren Bestimmungen ist die Leistung eines starken Arbeiters $^1/_7$ von der eines Pferdes. Ein Mann, der in einem Tage 1'850000 ℔ 1' hoch hebt, muss hiezu 0,19 ℔ Kohlenstoff verwenden. Dieses beträgt für eine Arbeitsstunde (den Tag zu 8 Stunden gerechnet) 0,024 ℔, für eine Minute 0,0004 ℔ = 3,2 Gran Kohlenstoff. Ein Kegelspieler, der eine 8 ℔ schwere Kugel mit einer Geschwindigkeit von 30' abwirft, verwendet zu dieser Arbeit $^1/_{10}$ Gran Kohlenstoff; ein Mann, der sein Körpergewicht von 150 ℔ 8' hoch hebt, verbraucht dazu 1 Gran Kohlenstoff; beim

Besteigen eines 10000′ hohen Berges beträgt der Aufwand, den bei jedem Tritte durch unelastischen Stoss verloren gehenden mechanischen Effekt ungerechnet, 0,155 ℔ = $2^1/_2$ Unzen und 50 Gran Kohlenstoff.

Wenn der animalische Organismus den disponibeln Brennstoff einzig zu mechanischen Zwecken verwenden würde, so müssten die berechneten Kohlenstoffmengen für die angegebenen Zeiten hinreichen. In Wirklichkeit kommt aber zu der Produktion mechanischer Effekte im Thierkörper noch eine beständige Wärmeerzeugung. Die chemische Kraft, welche in den eingeführten Nahrungsmitteln und in dem eingeathmeten Sauerstoffe enthalten ist, ist also die Quelle zweier Kraftäusserungen, der Bewegung und der Wärme, und die *Summe* der von einem Thiere producirten physischen Kräfte ist gleich der Grösse des gleichzeitig erfolgenden chemischen Processes.

Sammelt man die in einer gewissen Zeit von einem Thiere gelieferten mechanischen Kraftäusserungen, verwandelt dieselben durch Reibung oder sonst auf eine Weise in Wärme, und addirt hiezu die in gleicher Zeit von dem Körper unmittelbar entwickelte Wärme, so wird man genau die Wärmemenge erhalten, welche dem stattgehabten chemischen Processe an und für sich entspricht. Auf der einen oder der anderen Seite ein *Plus* oder *Minus* anzunehmen, verbietet das Gesetz des logischen Grundes. *Ex nihilo nil fit; nil fit ad nihilum.*

Die einzige Ursache der thierischen Wärme ist ein chemischer Process, in *specie* ein Oxydationsprocess.

Es ist ein grosses und anerkanntes Verdienst *Liebig's*, die Wahrheit dieses aus den Entdeckungen *Lavoisier's* resultirenden Satzes gegen erhobene Zweifel und Bedenklichkeiten siegreich vertheidigt zu haben. Wo es sich um Constatirung eines Wunders, der Erschaffung einer physischen Kraft, handelt, da können die berühmten Experimente von *Dulong* und *Despretz* nicht auf die geringste Beweiskraft Anspruch machen, und zwar, von den Fehlergrenzen solcher Versuche abgesehen, aus folgenden Gründen:

1. Da das Athmen dem chemischen Processe im Thiere parallel läuft, so muss angenommen werden, dass das warmblütige Thier bei ungehinderter Respiration in der Ruhe gerade soviel Wärme bildet, als zur Constant-Erhaltung seiner Temperatur erforderlich ist. Geht nun ein Thier von dem Zustande freier Respiration in den der gehinderten über, so muss die Wärmeerzeugung verringert werden, und das Thier wird während eines gewissen Zeitraumes mehr Wärme abgeben als erzeugen. In einem Zustande durch Angst beengter Respiration befanden sich nun die Thiere während der 1—2 St. dauernden Versuche *D's* und *D's*, folglich musste in dieser Zeit von den Thieren mehr Wärme ausgeschieden als gebildet werden; sie mussten also einen Theil ihrer Eigenwärme verlieren. *(Liebig.)*

Gegen die Richtigkeit dieses Argumentes lässt sich kein gerechter Zweifel erheben. Jedermann kennt die objectiven Temperaturveränderungen der Körperoberfläche bei verschiedenen Gemüthszuständen. Deprimirende Gemüthsaffekte drücken den chemischen

Process herab; die Haut erkaltet, denn es wird mehr Wärme abgegeben als erzeugt. Durch die höchst interessanten Versuche *Scharling's* (*Wöhler* und *Liebig's* Annalen, Bd. XLV.) wird die Abhängigkeit der chemischen Processe im Thierkörper von vorübergehenden inneren Zuständen direkt bewiesen. Ein 10jähriges Mädchen athmete in dem *stadium prodromorum* einer leichten Uebelkeit viel weniger Kohlensäure aus, als vor und nach diesem Vorfalle, und zwar im Verhältnisse etwa wie 5 : 8.

Vorauszusetzen nun, dass die Thiere in *Dulong's* und *Despretz* Versuchen ihr Athmungsgeschäft nicht durch Angst verändert fortgesetzt hätten, und auf ein kleines *Manco* sofort das grosse Resultat der Wunderwirkung der Lebenskraft zu fundiren, — dieses Verfahren verdient den Namen eines ächt wissenschaftlichen nicht, und wenn *Kohlrausch* (Physiologie und Chemie in ihrer gegenwärtigen Stellung, Göttingen 1844) meint, die Menge des im Apparate vorgeschützten Wassers könne auf ein Missverhältniss zwischen Erzeugung und Abgabe thierischer Wärme corrigirend influiren, so zeigt er damit nur, dass er durch seine Polemik gegen das *Liebig*'sche Argument sich auf einen Irrthum hat führen lassen.

2. *Dulong* und *Despretz* bestimmten bei ihren Versuchen den verzehrten atmosphärischen Sauerstoff und die Menge der gebildeten Kohlensäure, und berechneten hiernach die zur Wasserbildung verbrauchte Sauerstoffmenge; sie giengen also von der Voraussetzung aus, dass der activ verbrennende Sauerstoff einzig von der

Atmosphäre herrühre. Da nun aber der Stoffwechsel im Thiere nicht in einem Umsatze von Kohlenstoff und Wasserstoff in anorganischer Form, sondern in einer Zersetzung ternärer und quaternärer Sauerstoffverbindungen besteht, so liegt hierin eine mögliche Quelle von Fehlern. Organische Stoffe können ohne Sauerstoffaufnahme durch chemische Veränderungen Wärme entbinden; dies beweisst der Process der geistigen Gährung. Hätte man zu dem Thiere unter den Apparat eine Flasche gährenden Weinmostes gestellt und dann nach *Dulong* und *Despretz* die entwickelte Wärmemenge mit dem verschwundenen atmosphärischen Sauerstoff verglichen, so wäre das Missverhältniss zwischen der berechneten und der gefundenen Wärme noch grösser ausgefallen.

3. *Dulong* und *Despretz* nahmen die Verbrennungswärme des Kohlen- und Wasserstoffs bei ihren Versuchen zu klein an. Spätere direkte Verbrennungsversuche von *Dulong* u. a. beweisen dieses. Auf diesen entscheidenden Umstand hat *Liebig* (Annalen der Chemie von *Wöhler* und *Liebig* Bd. LIII.) aufmerksam gemacht und zugleich nachgewiesen, dass nach Vornahme der nöthigen Correktionen die Differenzen zwischen Experiment und Rechnung verschwinden!

Aus dem Angeführten geht zur Genüge hervor, dass die höchst werthvollen Versuche der genannten Naturforscher, weit entfernt, eine Widerlegung des Grundsatzes: *ex nihilo nit fit* zu enthalten, vielmehr die angefochtene Wahrheit auf dem Erfahrungswege bestätigen. Diese Versuche lehren, dass der Erzeugung

thierischer Wärme ein chemischer Process, eine Verbrennung, parallel läuft, und dass die ausgeschiedene Wärme der berechneten Oxydation von Wasserstoff und Kohle nahe genau entspricht; sie lehren dagegen nicht, dass die gebildete Wärmemenge in Wirklichkeit grösser sei, als sie der chemische Process zu liefern vermag, und am allerwenigsten lehren sie die Quote der durch den Lebensprocess erschaffenen Wärme kennen. Wäre diese Quote einmal festgestellt, wäre auch noch ein qualitativer Unterschied zwischen der durch Chemismus erzeugten gemeinen, und der durch den Lebensprocess erschaffenen vitalen Wärme nachgewiesen, dann, aber auch erst dann wäre es Zeit, zum Mysticismus umzukehren und an einer rein wissenschaftlichen Behandlung der Lebenserscheinungen zu verzweifeln.[1]

In dem thätigen Thiere ist der Stoffwechsel viel grösser als in dem ruhenden. Die Grösse des in einem gewissen Zeitraume vor sich gehenden chemischen Processes sei im ruhenden Individuum $= x$, in dem thätigen Individuum $= x + y$. Würde nun während der Arbeit dieselbe Menge freier Wärme ausgeschieden, als in der Ruhe, so müsste der Mehraufwand an

[1] Auf welch' sonderbare Ideen die sog. Vitalisten noch heutzutage verfallen können, ist u. a. aus *Reich's* Lehrbuch der prakt. Heilkunde nach chemisch-rationellen (?) Grundsätzen, Berl. 1842 zu ersehen. *R.* hält die thierische Wärme für ein Erbstück, das dem Neugebornen mit auf den Weg gegeben wird! Für diesen heiteren Gedanken wünschen wir besagtem Herrn einen Stubenofen, der die von Vater Hochofen überkommene Wärme spende für und für.

chemischer Kraft = y der Bildung mechanischer Effekte genau entsprechen. Durchschnittlich wird aber der thätige Organismus mehr freie Wärme bilden, als der ruhende, da schon die verstärkte Respiration einen vermehrten Wärmeverlust bedingt, der durch eine vermehrte Erzeugung gedeckt werden muss. Während der Arbeit wird also x + einem Theil von y zu Wärme, der Rest aber zu mechanischen Effekten verwendet werden.

Es folgt hieraus klar, dass die Produktion mechanischer Effekte mit der der freien Wärme bis auf einen gewissen Grad im Antagonismus stehen muss. Je grösser nemlich der zur Wärmebildung verwendete Bruchtheil von y ist, um so kleiner wird der den mechanischen Zwecken gewidmete Rest, und umgekehrt.

Die stündliche Erfahrung lehrt dieses. Es ist eine allbekannte Regel, dass man, um weit zu kommen, langsamen Schrittes anfangen müsse. Das Sprichwort sagt: „Eile mit Weile.“ Der Arbeiter sucht der Transpiration auszuweichen, um seine Kraft zu sparen, und der Fuhrmann liebt es nicht, wenn seine Pferde „warm“ werden. Im gemeinen Leben sagt man: der Schweiss verzehrt die Kraft; in der wissenschaftlichen Sprache heisst dieses: die vermehrte Erzeugung von Wärme geht auf Kosten der Bildung mechanischer Effekte. Bei gleichem Verbrauche wird das phlegmatische Temperament, sei es ein menschliches oder ein thierisches, den grössten Nutzeffekt zu liefern im Stande sein.

Auf den zwischen der Produktion von Wärme und mechanischem Effekt bestehenden Antagonismus

werden wir weiter unten zurückkommen. Es muss nun nachgewiesen werden, dass der von dem arbeitenden Individuum gemachte Mehraufwand an Combustibilien erfahrungsgemäss die zur Hervorbringung der Bewegungen nöthige Kraft wirklich enthält.

Ein starkes Pferd, das Tag für Tag der Ruhe pflegen darf, wird mit 15 ℔ (à 500 Grm.) Heu und 5 ℔ Hafer reichlich genährt; hat aber jetzt das Thier, wie oben angenommen wurde, täglich 12'960000 ℔ 1' hoch zu heben, so kann es bei dieser Nahrung offenbar nicht bestehen. Wir legen ihm, um es in gutem Stande zu erhalten, 11 ℔ Hafer (= $^1/_2$ Simri württ.) zu. Nun enthalten obige, der vorhin erwähnten Grösse x proportionale, 20 ℔ Nahrungsmittel nach *Boussingault* (*Ann. de Chim. et de phys. LXX.*; *Liebig*, die organ. Chemie in ihrer Anw. auf Phys.) 8,074 ℔ Kohlenstoff. Die 11 ℔ Hafer, welche der Grösse y entsprechen, enthalten nach ebendemselben 4,734 ℔. Nach *Boussingault* verhält sich ferner die eingeführte zu der in brennbarer Form excernirten Kohlenstoffmenge ungefähr wie 3938 : 1364,4; hiernach berechnet, ist also x, d. h. die von dem ruhenden Thiere verbrannte Kohlenstoffmenge, = 5,2766 ℔, y aber = 3,094 ℔. Der zu mechanischen Effekten verbrauchte Kohlenstoff aber beträgt nach dem obigen 1,34 ℔, welche Grösse wir = z setzen wollen.

Jetzt ergeben sich folgende Verhältnisse: 1) die mechanische Leistung zum Gesammtverbrauche = $z : x + y = 0{,}16$, 2) die mechanische Leistung zu dem Mehrverbrauche des arbeitenden Thiers = $z : y = 0{,}43$,

3) die Wärmebildung in der Ruhe zu der in der Arbeit $= x : x + y - z = 0{,}75$.

Nach *Liebig* (die organ. Chemie in ihrer Anw. auf Phys. u. Path.) erhalten die Gefangenen im Arresthause in Giessen, denen jede Bewegung mangelt, täglich 17 Loth (64 Lth. = 1 Kil.) Kohlenstoff. Das Verhältniss des eingeführten zum unverbrannt excernirten Kohlenstoff kann nach *L.* (a. a. O. 1te Aufl. S. 292) etwa = 290 : 12 angenommen werden. Die von einem Gefangenen oxydirte Kohlenstoffmenge ist hiernach = 255 Grm. = 0,51 ℔. Ein kasernirter Soldat geniesst täglich (siehe ebendas.) 29 Loth Kohlenstoff. Gönnen wir aber unserem Arbeiter zur Vollbringung seiner schweren Leistung noch weitere 7 Loth, so wird er täglich 36 Loth einführen, oder nach dem angeführten Verhältnisse 540 Grm. = 1,08 ℔ Kohlenstoff verbrennen.[1] Davon verwendet er zu mechanischem Effekte 0,19 ℔ = 95,7 Grm. Es verhält sich also 1) der mechanische Effekt zum Gesammtverbrauche = 95,7 : 540 = 0,177, 2) die mechanische Leistung zu dem Mehrverbrauche = 95,7 : 285 = 0,336, 3) die Wärmeentwicklung in der Ruhe zu der in der Arbeit = 255 : 540 — 95,7 = 0,57.

Bei diesen Rechnungen ist nur der umgesetzte Kohlenstoff in Betracht gezogen worden. Will man die Verbrennungswärme der eingeführten Nahrungsmittel gleich dem in ihnen enthaltenen Kohlenstoff +

[1] Die von *Lavoisier*, *Andral* u. v. a. gefundene Zahlen sind bedeutend kleiner. Die Respirations-Experimente müssen offenbar Minimal-Werthe geben, da sie nur an ruhenden Individuen angestellt werden können.

Wasserstoff setzen, so kann man die hinzuzuaddirende Verbrennungswärme des Wasserstoffes nahe = $^1/_4$ von der des Kohlenstoffs annehmen. Es versteht sich aber von selbst, dass die hier gegebenen Grössenbestimmungen auf eine allgemeine Gültigkeit keinen Anspruch machen wollen. Nach der verschiedenen individuellen Constitution und nach den verschiedenen Lebensverhältnissen muss die Leistung und der Verbrauch grossen Schwankungen unterliegen. Immerhin werden aber diese Angaben dazu dienen können, folgendes als erfahrungsgemäss zu begründen.

1. Der Mehraufwand, den der arbeitende Organismus an Combustibilien macht, reicht, auch wenn man das *Plus* der erzeugten Wärme im Auge behält, vollkommen aus, um die Produktion der mechanischen Effekte auf natürlichem Wege zu erklären.

2. Der von dem angestrengt thätigen Säugethiere zu mechanischen Zwecken verwendete Kohlenstoff wird als Maximum kaum $^1/_5$ vom Totalaufwande betragen. Die übrigen $^4/_5$ werden zur Wärmebildung verbraucht.

Um die Verwandlung von chemischer Kraft in mechanischen Effekt bewerkstelligen zu können, dazu sind die Thiere mit specifischen Organen ausgerüstet, deren die Pflanzen gänzlich ermangeln. Es sind dieses die Muskeln.

Zur Thätigkeitsäusserung eines Muskels gehört zweierlei: 1) der Einfluss eines motorischen Nerven als Bedingung, und 2) der Stoffwechsel als Ursache der Leistung.

Wie der ganze Organismus, so hat auch das Organ, der Muskel, seine psychische und seine physische Seite; zu jener zählen wir den Nerveneinfluss, zu dieser den chemischen Process.

Dem Willen des Steuermanns und des Maschinisten gehorchen die Bewegungen des Dampfbootes. Der geistige Einfluss aber, ohne welchen das Schiff sich nicht in Gang setzen, oder am nächsten Riffe zerschellen würde, er lenkt, aber er bewegt nicht; zur Fortbewegung bedarf es einer physischen Kraft, der Steinkohlen, und ohne diese bleibt das Schiff, auch beim stärksten Willen seiner Lenker, todt.

Im ersten Theile dieser Schrift wurde die Rolle, welche der Verbrennungsprocess in anorganischen Bewegungsapparaten, den Dampfmaschinen spielt, ihren Hauptpunkten nach erörtert. Unsere jetzige Aufgabe ist es, die hier einschlagenden Lebenserscheinungen im Zusammenhange mit ihrer physikalischen Ursache zu betrachten, und das auf dem Boden exacter Wissenschaft Gewonnene zur Begründung physiologischer Lehrsätze anzuwenden.

Der Muskel ist nur das Werkzeug, mittelst dessen die Umwandlung der Kraft erzielt wird, aber er ist nicht der zur Hervorbringung der Leistung umgesetzte Stoff.

Nach dem obigen (S. 62) verarbeitet ein angestrengt thätiger Mann in einem Tage 0,19 ℔ Kohlenstoff zu mechanischen Effekten. Das Gewicht der gesammten Muskulatur eines 150 ℔ schweren Arbeiters = 64 ℔ gesetzt, bleiben, nach Abzug von $77\,^0/_0$ Wassergehalt, circa 15 ℔ trockene combustible Muskelsubstanz. Angenommen nun (obschon nicht zugegeben), die wärmegebende Kraft dieser Materie komme (bei $40\,^0/_0$ Sauerstoff und Stickstoff) der des reinen Kohlenstoffes gleich, so müsste die ganze Muskulatur des Mannes, wenn sie den Stoff zur Krafterzeugung liefern sollte, in längstens 80 Tagen oxydirt werden.

Noch augenfälliger wird diese arithmetische Deduktion, wenn man die Leistung eines einzelnen Muskels, die des Herzens nemlich, in Betracht zieht. Wir setzen mit *Valentin* (Lehrbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 1. S. 488) die von dem linken Ventrikel bei jeder Systole beförderte Blutmenge im Mittel = 150 Kubikcentimeter, den hydrostatischen Druck des Blutes in den Arterien nach *Poiseuille* = dem Drucke einer 16 Centimeter hohen Quecksilbersäule. Der mechanische Effekt, den der linke Ventrikel bei einer Systole liefert, lässt sich hieraus berechnen; er ist gleich der Hebung einer Quecksilbersäule von einem Quadratcentimeter Grundfläche und 16 Centimeter Höhe auf 150 Centimeter. Das Gewicht des Quecksilbers beträgt 217 Grm. Der Effekt einer Systole, reducirt, ist somit

$$= \left\{ \begin{array}{lll} 325{,}6 \text{ Grm.} & \text{auf} & 1^m \\ 2 \text{ ℔} & „ & 1' \end{array} \right\},$$

welches äquivalent ist mit $0^0{,}887$ Wärme, oder äquivalent

der Verbrennung von 0,1037 Milligrm. Kohlenstoff. Rechnet man nun für eine Minute 70, für einen Tag 100800 Pulsschläge, so ist der mechanische Effekt des linken Ventrikels in einem Tage = 202000 ℔ auf 1′ = 89428^0 Wärme = der Verbrennung von $\left\{\begin{array}{l}\text{10,45 Grm.}\\ \text{168,3 Gran}\end{array}\right\}$ Kohlenstoff. Nach *Valentin* ist die Leistung des rechten Ventrikels die Hälfte von der des linken. Der von beiden Kammern gelieferte mechanische Effekt ist hiernach in einem Tage = 303000 ℔ auf 1′ = 134143^0 Wärme

$$= \left\{\begin{array}{l}\text{15,67 Grm.}\\ \text{252,4 Gran}\end{array}\right\} \text{Kohlenstoff.}$$

Das Gewicht des ganzen Herzens zu 500 Grm. angenommen, und hievon 77% Wasser abgezogen, bleiben 115 Grm. trockene brennbare Materie. Setzt man diese Materie, wie oben, dem reinen Kohlenstoff äquivalent, so folgt, dass das ganze Organ, wenn es den Stoff zu seiner Leistung selbst abgeben sollte, in längstens 8 Tagen oxydirt sein müsste. Setzt man aber das Gewicht beider Ventrikel allein, nach den Wägungen *Valentin's* (a. a. O. S. 433), = 202 Grm., so müsste unter der nemlichen Bedingung, die totale Umsetzung dieser Muskelgebilde binnen 3½ Tagen vollbracht sein!

Es steht aber die Annahme einer raschen Umsetzung (Verbrennung und Neubildung) der normal thätigen Muskelfaser mit physiologischen Thatsachen und mikroskopischen Forschungen in offenbarem Widerspruche, und es beweisen also die gefundenen Zahlen-

werthe von $3^1/_2$ bis 80 Tagen zur Evidenz, dass ein erheblicher Theil des zu der Leistung verbrauchten Brennstoffes von der Muskelfaser selbst nicht herrühren kann.

Die thierischen Gewebe haben, ihren entfernten Bestandtheilen, dem Kohlenstoff, dem Wasserstoff, dem Stickstoff ähnlich, bei der gewöhnlichen Temperatur nur eine geringe Neigung, sich mit dem Sauerstoff direct zu verbinden; getrocknete Membranen erhalten sich in der atmosphärischen Luft und im Sauerstoff viele Jahre lang unverändert. Eine solche Neigung aber auch vorausgesetzt, so ist dem Sauerstoffe der Zutritt zu den Geweben, insbesondere zu der Muskelfaser, um die es sich hier vorzüglich handelt, verwehrt; der Sauerstoff gelangt gebunden an das arterielle Blut in die Tiefe des Organismus; hat er Neigung, mit organischen Stoffen binäre Verbindungen einzugehen, so wird er ohne Zweifel die ihm zunächst liegenden Theile, wie er sie im Blute selbst reichlich und in aufgelöstem Zustande vorfindet, wählen. Warum der gebundene Sauerstoff von dem Arterien-Blute sich losreissen und die Gefässwandungen exosmotisch durchdringen sollte, um die Muskelfaser aufzusuchen, davon lässt sich ein Grund wahrhaftig nicht einsehen.

Mit scheinbar grösserem Rechte liesse sich in einer besonderen „Lebenskraft“ ein Schutz erblicken gegen eine andere chemische Action, gegen die Selbstentmischung nemlich, der die organischen Theile nach dem Tode entgegengehen. Die Selbstentmischung organischer Verbindungen, die Gährung, die Fäulniss, die

Verwesung, wie sie bei gewissen Temperatur-Graden, unter der Anwesenheit von Wasser und z. Thl. mit, z. Thl. ohne Aufnahme von atmosphärischem Sauerstoff erfolgt, ist ein Process, der bis zu einem gewissen Punkte mit zunehmender Beschleunigung vor sich geht. Es kann in dieser Hinsicht die Selbstentmischung passend mit dem Herabfallen einer Last gegen die Erde aus kosmischer Höhe verglichen werden; diese Last nähert sich mit zunehmender Beschleunigung der Erde; der schwächste Faden würde in einer gewissen Höhe hingereicht haben, das Herabfallen einer grossen Masse zu verhindern, während im späteren Verlaufe des Fallens von dem stürzenden Gewichte das stärkste Hinderniss überwunden wird.

Wenn wir ein gesundes Thier tödten, und wenige Tage nachher das Cadaver in rascher Selbstentmischung finden, so können wir uns allerdings veranlasst sehen, naturphilosophische Reflexionen über die Energie der Lebenskraft, die im Stande war, den mächtigen Process der Fäulniss zu verhindern, anzustellen; in Wahrheit laufen wir aber bei solchen Meditationen Gefahr, einen Spinnenfaden für ein Kabeltau anzusehen. Ein anderes ist es, der Entstehung einer Feuersbrunst zuvorzukommen, ein anderes, dem entfesselten Elemente Schranken zu setzen. In den ersten Minuten oder Stunden nach dem Tode ist die Neigung zur Selbstentmischung (und dieser Neigung entspricht in dem mechanischen Processe des Fallens die Anziehung) eine sehr geringe; sie wächst durch ihre eigene Wirkung, durch die Anwesenheit der putreficirten Stoffe; in dem

lebenden Organismus ist diese Neigung nach mathematischen Gesetzen kleiner noch, als in der Minute nach dem Tode, im Leben ist die Neigung zur Fäulniss ein verschwindend kleines, die Kraft, welche wir dieser Neigung entgegenzusetzen haben, ist deren Grösse proportional, sie ist verschwindend klein, sie ist Null.

Ein Fass voll frisch ausgepressten Traubensaftes wird bei mässiger Wärme und bei Anwesenheit von etwas Sauerstoff binnen kurzer Zeit in volle Gährung gerathen; angenommen aber, es liesse sich die Einrichtung treffen, dass die Gährungsprodukte im Momente ihrer Bildung stets wieder entfernt würden, (wie dieses durch ein fortwährendes Filtriren der ganzen Masse theilweise geschehen könnte) so wäre, mittelst eines geringen täglichen Zusatzes von frischem Traubensafte, das Fass beständig voll von süsser, gährungsfähiger Masse zu erhalten. Eine allgemeine Gährung würde, solange die Ab- und Zufuhr regelmässig fortdauert, nimmermehr zu Stande kommen.

Der ausgezeichnete Techniker, Hr. G. Schäuffelen in Heilbronn, hat im Kamine der Dampfschiffe einen Aspirator angebracht, — ein Rad, das von der Maschine selbst getrieben, einen starken Luftstrom durch die brennenden Steinkohlen hindurchzieht, — und erzielt damit, dass das Brennmaterial, ohne Russ und schwarzen Rauch zu geben, in Form binärer Sauerstoffverbindungen austritt. Es beruht dieser Apparat auf einer glücklichen Nachahmung des Lebensprocesses; ein kleiner Theil des auf Kosten der Verbrennungs-

Wärme erzeugten mechanischen Effektes wird verwendet, um den Zutritt der Lebensluft mechanisch zu befördern und die Bildung zweckwidriger Produkte dadurch zu verhüten.

Zahlreiche Apparate sind nun im lebenden Thiere unausgesetzt beschäftigt, zu filtriren, zu aspiriren, die chemischen Processe, z. Thl. unter Aufwand von mechanischer Kraft, zu regeln, die Intensität dieser Processe zu erhöhen, ihre Extensität zu vermindern, die Zersetzungsprodukte in abgesonderten Räumlichkeiten niederzulegen und sie sofort zu entfernen, vor allem aber der Bildung und Ansammlung putrider Fermente vorzubeugen. Bringt man aber in die Säftemasse des lebenskräftigsten Mannes ein Gran faulender Jauche, so vermag weder Natur noch Kunst der rasch folgenden Entmischung, dem schnell tödtlichen Faulfieber, Schranken zu setzen. Wo bleibt hier die Lebenskraft? wo das Vermögen: „Widerstand zu leisten gegen äussere Ursachen von Störungen?“ *Hic Rhodus, hic salta!*

Es ist eine altbekannte Thatsache, dass Flüssigkeiten, welche an und für sich zur Selbstentmischung wohl geneigt sind, im Innern des lebenden Körpers lange Zeit unzersetzt verweilen können; es fragt sich also: ist die Widerstandsfähigkeit flüssiger organischer Materien gegen Zersetzung, vom chemischen Standpunkte aus betrachtet, durchgehends viel grösser, als die der festen Theile?

Indem man von der Lebenskraft überhaupt Umgang nimmt, wird man sich die fraglichen Verhältnisse leicht und einfach erklären können.

Wenn stagnirende Flüssigkeiten [1] in Berührung mit lebendigen Gebilden sich lange Zeit unverändert erhalten, während sie ohne solche Berührung unter sonst gleichen Umständen sich entmischen würden, so müssen wir daraus schliessen, dass die festen Theile durch Secretion und Resorption einen Einfluss ausüben, durch welchen diese Flüssigkeiten nach rein chemischen Gesetzen in ihrer Mischung erhalten werden. Man erinnere sich hier an das, was kurz zuvor von einem Süssbleiben des gährungsfähigen Weinmostes beispielsweise erwähnt wurde. Diese nothwendige Annahme einer resorbirenden und secernirenden Thätigkeit der eine solche Flüssigkeit umgebenden Fläche steht mit bekannten anatomischen, physiologischen und pathologischen Verhältnissen im Einklange.

Die flüssigen Materien besitzen, ihrer verschiedenen chemischen Beschaffenheit nach, eine sehr verschieden grosse Neigung zur Selbstentmischung; die Milch, der Wein, ein fettes Oel, der absolute Alcohol verhalten sich in dieser Beziehung höchst ungleich. Je reicher an organischen Bestandtheilen die im Körper eingeschlossene Flüssigkeit ist, um so grösser wird im Allgemeinen auch ihre Zersetzungsneigung sein. Die Wechselwirkung zwischen den umschliessenden Festtheilen und der eingeschlossenen Flüssigkeit, oder die absorbirende und secernirende Thätigkeit der Höhlenwandung muss nun um so grösser sein, je grösser die

[1] Von den circulirenden Säften, dem Blute und der Lymphe, wird weiter unten die Rede sein.

Zersetzbarkeit der eingeschlossenen Materie ist. Da nun diese Thätigkeit wiederum mit dem Gefässreichthum der betreffenden Theile im Verhältniss steht, so muss folglich die Zersetzbarkeit des Exsudates in Proportion stehen mit der Vaskulosität der umkleidenden Membran.

Die Zersetzbarkeit und Vaskulosität ist im Minimum vorhanden bei den normalen Flüssigkeiten des Auges, dem *humor aqueus et vitreus*, und den entsprechenden Umhüllungen. Gering sind ferner beide in vielen hydropischen Ausschwitzungen, Sackwassersuchten, bei der Hydrocele. Wenn nach wiederholter Paracentese der Bauch- oder Brusthöhle das Exsudat reicher wird an organischen Stoffen, so verdickt sich auch gleichzeitig die serose Haut und wird blutreicher. Die Galle und die leicht zersetzbare Milch sind von gefässreichen Schleimhäuten umgeben, sie können sich bei fehlender Excretion lange unzersetzt erhalten. In ihrem anatomischen und physiologischen Verhalten sind den Schleimhäuten die Abscess-Wandungen ähnlich. Nach Oeffnung des Abscesses erhält der atmosphärische Sauerstoff Zutritt zu der angesammelten eitrigen Flüssigkeit, wodurch die Tendenz zur Entmischung ohne Zweifel gesteigert wird; zur Verhütung der fauligen Zersetzung muss der Blutreichthum der Abscess-Wandungen und die Wechselwirkung zwischen festen und flüssigen Theilen gesteigert werden. Man erinnere sich an die Operation des Empiems, an die Eröffnung grosser lymphathischer Abscesse, an die des Psoas-Abscesses.

Hat der örtliche pathologische Process eine gewisse Zeit lang gedauert, hat er eine gewisse Ausdehnung erhalten, so theilt er, wie die Erfahrung lehrt, der ganzen Säftemasse eine Zersetzungs-Tendenz mit; die normwidrige Veränderung, welche ein Theil des Blutes in den Abscess-Wandungen fortwährend zu erleiden hat, um die faulige Zersetzung des Eiters zu verhindern, wird, nach erlangter allgemeiner Ausbreitung, zum Consumtions-Fieber.

Kommt der Eiter auf seiner Wanderung oder Ausbreitung mit einer Knochenfläche in Berührung, so wird er an dieser Stelle seiner schützenden schleimhautähnlichen Umhüllung beraubt und erhält so eine Gelegenheit, zu verjauchen. Der Knochen wird entweder in den Zersetzungsprocess hineingezogen, oder er überzieht sich im günstigeren Falle mit einer gefässreichen Haut, er granulirt, und der Eiter erhält eine bessere Beschaffenheit.

Blut-Extravasate, welche nicht binnen kurzer Zeit resorbirt werden, können nur durch gefässreiche einschliessende Wandungen und durch eine gesteigerte secernirende und resorbirende Thätigkeit derselben, unter Entzündung und Eiterung einer fauligen Zersetzung entgehen; diese Zersetzung erfolgt aber unfehlbar in den Tamponen der Nasen- und Genitalien-Höhlen und in der zurückgebliebenen Placenta.

Das Gesetz des zwischen der Zersetzungsneigung einerseits und einem nothwendigen chemischen Processe anderseits bestehenden Grössenverhältnisses muss nicht nur bei stagnirenden, pathologisch angesammelten

Exsudaten gelten, es muss auch auf die Flüssigkeiten [1] überhaupt und deren Umwandlung, auf den ganzen Organismus und den Stoffwechsel seine Anwendung finden. Die Kohlensäurebildung im lebenden Organismus, als ein Ausdruck des Stoffwechsels, kann nicht unter einen gewissen Punkt herabsinken, ohne dass der Thierkörper seiner Auflösung entgegengeführt wird. Dieses physiologische Minimum des chemischen Processes muss für verschiedene Temperatur-Grade verschiedene Werthe haben; die Zersetzungsneigung thierischer Stoffe ist, wie bei der geistigen und sauren Gährung, in der Wärme grösser, in der Kälte geringer. Thiere, welche in der Ruhe nur so viel Kohlensäure bilden, als zur Erhaltung ihrer Säftemischung nothwendig ist, d. h. Thiere, welche sich mit dem Minimum des chemischen Processes begnügen, müssen in der Wärme eine grössere Menge von Kohlensäure bilden, als in der Kälte. Es erklärt sich dadurch, dass bei den kaltblütigen Thieren und bei Säugethieren während des Winterschlafes, nach den Beobachtungen von *Treviranus* u. a., die Kohlensäure-Produktion mit der Temperatur zugleich zunimmt, während dieses bei Thieren von constanter Eigenwärme sich umgekehrt verhält.

Da wir in einem chemischen Processe, in dem Stoffwechsel, einen vollwichtigen Grund von dem Fortbestande lebender Organismen erblicken, so müssen wir gegen die Aufstellung einer besonderen Lebens-

[1] Die festen Theile des Organismus haben unter normalen Verhältnissen und dem Ausschluss von freiem Sauerstoff eine ohne Zweifel sehr geringe Zersetzungsneigung.

kraft, um solche Erscheinungen zu erklären, Protest erheben.

Gewiss ist noch für lange Zeit keine Aussicht vorhanden, dass es gelingen werde, die richtige Erklärung der krankhaften Zustände aufzufinden, und *Liebig's* Theorie der Krankheit, obschon durch sie in manchen Aerzten sanguinische Hoffnungen rege gemacht wurden, hat uns dem Ziele um keinen Schritt näher gebracht, wie auch die Untersuchungen eines *Lotze, Wunderlich* u. a. in dieser Beziehung der Wissenschaft nur negative Resultate gewähren konnten. Leichter wird man eine Quinterne treffen, als eine Reihe verwickelter Naturprocesse durch Suppositionen errathen. [1]

Unter Aufnahme von atmosphärischem Sauerstoffe und unter Bildung und Ausscheidung binärer Verbindungen geht in dem thierischen Organismus beständig ein chemischer Process vor sich, als dessen Wirkung wir die Erzeugung von Wärme und mechanischem Effekt kennen gelernt haben.

Um sich zuerst über den Ort der Verbrennung zu vergewissern, könnte eine thermometrische Messung der Organe und der verschiedenen Blutarten als das einfachste Mittel erscheinen. Den Lungen wird durch

1 Diese zunächst der Pathologie geltende Bemerkung mag *mutatis mutandis* nicht minder auf die Therapie eine Anwendung finden. Glücklich — wenn auch der Arzt mit unbekannten Funktionen rechnet — dass Schicksal und Natur ein Facit ziehen!

die Zufuhr kalter Luft und durch Wasserverdampfung beständig Wärme entzogen; da nun die Lungen keine niedrigere Temperatur zeigen, als die übrigen Centralorgane, noch viel weniger aber das geathmete Blut kälter gefunden wird, als das Körper-Venenblut, so könnte schon hieraus auf eine Wärmeentwicklung in den Lungen geschlossen werden. Nach *Holtzmann* erfordert 1 Grm. Wasser bei 37°,5 zu seiner Verdampfung 564° Wärme. Die Wasserverdampfung in den Lungen in 24 St. zu 1 ℔ gerechnet, gibt 282000° Kälte. Nimmt man ferner an, dass in den Lungen in jeder Minute 12000 Cubikcentimeter Luft um 20° C. erwärmt werden, so beträgt dieses für den Tag, die Wärmecapacität der Luft = 0,267, das specifische Gewicht = 0,0013 gesetzt: 120000°, Summa 402000° Kälte. Die bei jeder Systole beförderte Blutmenge klein, = 100 Cubikcentimeter gesetzt, so gehen bei 70 Pulsschlägen 10'080000 Cubikcentimeter Blut in einem Tage durch die Lungen. Die Wärmecapacität und das specifische Gewicht des Blutes dem des Wassers gleich gesetzt, finden wir, dass das Blut der *arteria pulmonalis* bei einer äusseren Temperatur von 17°,5 durchschnittlich $\frac{1^0}{25}$ wärmer, als das der Lungenvenen sein müsste, wenn in den Lungen keine Wärme erzeugt würde. Rechnet man noch, dass der von dem rechten Ventrikel gelieferte mechanische Effekt in den Lungen in Wärme sich verwandelt, so findet man diese Reibungswärme des Lungenblutes (Vergl. o. S. 74) = 29809°; diese von obigen 402000° Kälte abgezogen, wird die Wärmedifferenz beider Blutarten = $\frac{1^0}{27}$. Setzt man aber wie oben S. 73

die Herzcapacität = 150, so beträgt diese Differenz nicht mehr als $\frac{1^0}{42}$.

Verlegt man auf der andern Seite die Wärmebildung ausschliesslich in die Lungen, und nimmt man den wärmeliefernden chemischen Process möglichst gross, = der täglichen Verbrennung von 1 ℔ Kohlenstoff = 4'279000⁰ Wärme an, so könnten in den Lungen, nach Abzug von 402000⁰ Kälte, 3'877000⁰ thermometrisch wahrnehmbare Wärme erzeugt werden. Wird die Herzcapacität wiederum klein, = 100 gesetzt, so folgt, dass das Blut der Lungenvenen um $^2/_5{}^0$ wärmer, als das der *art. pulmonalis* sein müsste; die Herzcapacität = 150 gesetzt, würde der Temperaturunterschied $^1/_4{}^0$ betragen, und um ebensoviel müsste auch die Wärme der Lungen die der anderen inneren Organe übertreffen.

Die über den Wärmeunterschied beider Blutarten angestellten Untersuchungen haben bekanntlich zu keinen übereinstimmenden Resultaten geführt. Zieht man in Betracht, dass die Cirkulations- und Oxydations-Verhältnisse eines der Vivisection unterworfenen Thieres ohne Zweifel von der Norm abweichen werden (Vergl. o. S. 64), und dass die gegen Wärmeverlust geschützten sehr blutreichen Haupthöhlen des Körpers (und dadurch auch die von ihnen ausgehenden Blutströmungen) constant eine höhere Temperatur zeigen müssen, als die Aussenwerke des Organismus und das von diesen zurückkehrende Blut, so wird man leicht einsehen, dass die an dem Blute einzelner Arterien- und Venen-Stämmen beobachteten Temperatur-

Differenzen,[1] (welche das so eben berechnete mögliche Maximum von $\frac{1}{4}^0$ bis $\frac{2}{5}^0$ C. in vielen Fällen sogar bedeutend übersteigen) zu einem Schlusse auf den Ort der Wärmeerzeugung keineswegs berechtigen.

Der chemische Process und die Kraftentwicklung geht, wie wir sehen werden, sowohl in den Lungen als in den übrigen Körpertheilen vor sich. Das Blut nimmt in den Lungen Sauerstoff auf und führt ihn allen Körpertheilen zu. Unter Verwendung dieses Sauerstoffes erfolgt der chemische Process. Nach aufgehobener Respiration hört der Farbenwechsel des Blutes, die Wärmeproduktion und die Muskelbewegung auf. Mit welchen Massentheilen combinirt sich nun der atmosphärische Sauerstoff des arteriellen Blutes? Welche Materien dienen dem Organismus als Brennstoff? Geht der in Rede stehende chemische Process innerhalb der Blutgefässhöhle vor sich, oder erstreckt er sich über die Gefässwandungen hinaus, auf die festen Gewebstheile?

Von dem Blute, das der linke Herzventrikel hinaussendet, gelangt ein grosser Theil zum rechten Herzvorhofe zurück, ohne auf seiner Wanderung durch den Körper die Gefässhöhle verlassen zu haben; vermöge der Herzaction aber übt das Blut einen beständigen Druck gegen die Gefässwandungen aus, und dadurch wird ein Theil des Blutes (und zwar der dünnflüssigste)

[1] *Mayer* (*Meckel's* Arch. 3. 337) fand das Blut der Carotis um 1—2° R. wärmer, als das Blut der Jugularvenen; dagegen konnte er zwischen den Blutarten beider Herzhälften keinen Temperaturunterschied wahrnehmen.

aus der Röhrenleitung hinausgetrieben. In den netzförmig anastomosirenden Capillar-Gefässen muss der hydrostatische Druck des Blutes gegen die Gefässwandungen nahezu gleichförmig sein, und dieser Druck wird auch den ausgepressten Theil des Blutes am Wiedereintritt in die Gefässhöhle verhindern, während endosmotische und exosmotische Tendenzen, (soweit nicht excernirt wird) sich das Gleichgewicht halten. Nun sind aber andere Röhren vorhanden, in denen der von dem Herzventrikel ausgehende Druck fehlt, und diese sind bereit, die ausgetretene Flüssigkeit, die Lymphe,[1] in sich aufzunehmen. Diese Röhrenleitung heisst das lymphatische Gefässsystem.

1 Den Beweis des Zusammenhanges von Blutflüssigkeit und Lymphe hat *Müller* geliefert. (Handb. der Phys. 1te Aufl. S. 245) Die aus dem Blutgefässsystem tretende Lymphe wird bei vorhandenem Tonus der festen Organtheile durch den *impetus a tergo*, durch den vom Herzen ausgehenden Druck, in die verhältnissmässig weiten Anfänge der lymphatischen Gefässe hinein — und in denselben weiter fortgeführt. Abwechselnder Druck durch Muskelcontraction befördert die Strömung der Lymphe wie des Venenblutes. Im weiteren Verlaufe gesellt sich als mächtiges Agens die Pectoralaspiration hinzu, und zugleich wächst, bei der angebrachten Klappeneinrichtung, der hydrostatische Druck der Lymphe gegen ihre Gefässwandung im Hauptstamme durch die Verengerung des *Lumens*, die der *Ductus thoracicus* im Verhältniss zu seinen Verzweigungen zeigt, und so erfolgt, begünstigt noch durch die Herzaspiration in der Nähe des rechten Vorhofes, der Wiedereintritt der Lymphe in das Blutgefässsystem ohne Schwierigkeit. Klar ist aber, dass jedes Hinderniss in Respiration und Circulation durch Schwächung der Pectoralaspiration oder durch Vermehrung des hydrostatischen Blutdruckes in der *vena subclavia sinistra*, der Lymphbewegung hemmend entgegentreten und dadurch zu ödematösen Anschwellungen etc. disponiren muss.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass das Wachsthum und die Wiedererzeugung der Gewebstheile nur durch die aus der Gefässhöhle tretende Protein- und salzhaltige Flüssigkeit vermittelt werden kann. Die Frage ist aber hier die: spielt diese Flüssigkeit bei dem in Rede stehenden Oxydationsprocesse eine gewichtige Rolle, oder nicht? Um dieses zu entscheiden, müssen wir die Quantität der von dem Blute sich abscheidenden Lymphe ins Auge fassen. *Magendie* erhielt bei einer Vivisection aus dem durchschnittenen *ductus thoracicus* eines eben gefütterten Hundes mittlerer Grösse in 5 Minuten $^1/_2$ Unze = 15 Cubikcentimeter Lymphe, wovon für den vorliegenden Zweck der Chylus abzuziehen wäre. Uebertragen wir dieses Quantum auf die Lebensverhältnisse eines gesunden Mannes, so werden wir als gewiss annehmen dürfen, dass bei diesem der *ductus thoracicus* in 5 Minuten nicht über 100 Cubikcentimeter reiner Lymphe liefern werde. In dem gleichen Zeitraume befördert aber der linke Ventrikel, die Capacität desselben nur = 100 angenommen, ein 350mal grösseres Flüssigkeitsquantum. Aus diesen beiläufigen Bestimmungen, bei denen die Action der Secretionsorgane füglich ausser Rechnung gelassen werden durfte, lässt sich mit Sicherheit entnehmen, dass von der, durch den linken Ventrikel ausgeschickten Flüssigkeit kein volles Procent, (vielleicht kaum ein *per mille)* die Gefässhöhle verlässt, dass mithin von 100 Theilen umkreisender Flüssigkeit 99 Theile (+ einem Bruchtheile) den Weg vom linken zum rechten Herzen, in der Röhrenleitung des Blutgefässsystemes stetig fort-

rückend, zurücklegen. Die physiologischen Thatsachen lehren nun, dass das von dem Körper zurückkehrende Blut der warmblütigen Thiere ohne erneuerte Sauerstoffaufnahme nicht im Stande ist, den chemischen Process im Körper zu unterhalten, dass mithin der in den Lungen von dem Blute aufgenommene Sauerstoff bei jedem Circuitus vollständig (oder nahe vollständig) zur Unterhaltung des chemischen Processes verwendet wird. Wollte man nun auch annehmen, dass der aus den Lungen dem Körper zugeführte atmosphärische Sauerstoff gleichförmig über die Blutflüssigkeit verbreitet sei, mit anderen Worten: wollte man auch, allen chemischen und physiologischen Thatsachen zum Trotz die wichtige Rolle, welche die Blutkörperchen beim chemischen Processe spielen, zu Gunsten der Lymphe negiren, so dürfte doch immer noch behauptet werden, dass kein volles Procent des aufgenommenen atmosphärischen Sauerstoffes aus der Gefässhöhle auswandert, — oder:

dass nicht der hundertste Theil des Oxydationsprocesses im Körper ausserhalb der Gefässwandungen erfolgt.

Dieser Satz wird durch physiologische Beobachtungen direkt bestätigt. Die nothwendige und nächste Folge des aufgehobenen Oxydationsprocesses ist das Aufhören der Produktion von Wärme und mechanischem Effekt, und im weiteren Verlaufe das Eintreten der Fäulniss. Allgemein geschieht dieses z. B. nach Verschliessung der Luftröhre, und örtlich sowohl nach Unterbindung einzelner Schlagadern als auch der Venen

(Segalas). Die Verschliessung des *ductus thoracicus* dagegen wirkt ganz anders, als die der Luftröhre; sie bedingt zunächst nur lymphatische Ausschwitzung und Vernichtung der Chilopoëse. Da nun die Bewegung des ausserhalb der Blutgefässe sich befindenden Plasmas nach Unterbindung des Brustganges alsbald ein Ziel finden muss, der Oxydationsprocess nichts destoweniger aber fortdauert, so ist hieraus der Schluss zu ziehen, dass dieser *liquor extra muros* bei dem vitalen Oxydationsprocesse eine jedenfalls nur sehr untergeordnete Rolle zu spielen habe. Der Herd dieses Processes ist die Höhle des Blutgefässsystemes, das Blut aber, eine langsam brennende Flüssigkeit, ist das Oel in der Flamme des Lebens.

Unverkennbar üben die festen Theile des Organismus, die Gefässwandungen und mittelbar die Gewebstheile, insbesondere die Nervenfasern, auf die chemische Metamorphose des Blutes einen mächtigen Einfluss aus, — einen Einfluss, durch den im allgemeinen die Energie des Oxydationsprocesses erhöht, oder die Affinität gesteigert wird. Jedermann weiss, dass in zahlreichen Fällen chemische Actionen von der blossen Anwesenheit gewisser Stoffe bedingt werden, die für sich selbst an der vor sich gehenden Veränderung keinen Antheil nehmen. Will man voraussetzungslos einer constatirten Thatsache einen Namen leihen, so kann man die Rolle, welche bei solchen Vorgängen die unverändert bleibende Materie spielt, mit dem Ausdruck „Contact-Einfluss" bezeichnen; sonst pflegt man wohl auch bekanntlich von „katalytischer Kraft" und

„katalytischer Wirkung“ zu sprechen; wenn aber unter Kraft nur „die, einer messbaren Wirkung proportionale messbare Ursache“ verstanden werden soll,[1] so darf aus begreiflichen Gründen der fraglichen Erscheinung eine specifische Kraft nicht unterschoben werden.

Das durch Sauerstoff geröthete Blut behält, sich selbst überlassen, seine helle Farbe eine Zeit lang unverändert bei, verliert aber dieselbe augenblicklich während seines Durchgangs durch die Capillargefässe des Körpers; offenbar erleidet also das Blut eine chemische Veränderung unter dem Contact-Einflusse der Gefässwandungen, einem Einflusse, der sich nur in den feineren Gefässen, in denen die Berührungsfläche im Vergleich mit den dickeren Röhren beinahe bis in das Unendliche vergrössert ist, bemerkbar macht. Diese capillare Ausbreitung des Blutes findet nun in den Lungen ebensowohl statt, als im Körper, und es erhellt hieraus, dass die Bedingungen zu einem chemischen Processe hier wie dort vorhanden sind.

Das lebende Blut besteht aus zwei mechanisch, chemisch und physiologisch wohl zu unterscheidenden Theilen, aus dem flüssigen Plasma, *liquor sanguinis,* und aus den pulverförmigen Blutkörperchen. Der *liquor* hat keine, oder nur sehr geringe, die Blutkörperchen

[1] „Katalytisch“ heisst eine Kraft, soferne sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Grössenbeziehung steht. Eine Lawine stürzt in das Thal; der Windstoss oder der Flügelschlag eines Vogels ist die „katalytische Kraft“, welche zum Sturze das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt. — Das „katalytische“ dieser Kraft bezieht sich zu allernächst auf die Logik, oder das Causal-Gesetz, welches durch selbige paralysirt wird.

dagegen haben eine grosse Neigung, Sauerstoffgas in sich aufzunehmen. Dieses bekannte Verhalten nöthigt zu dem Schlusse, dass die Blutkörperchen es sind, die in den Lungen den atmosphärischen Sauerstoff aufnehmen, und es beruht demgemäss der vitale chemische Process im wesentlichen darauf, dass der von den Blutkörperchen absorbirte Sauerstoff mit combustibeln Blutbestandtheilen zu Kohlensäure und Wasser sich vereinigt. Die Blutkörperchen spielen in dieser Beziehung bei dem Lebensprocesse, wie das Stickstoffoxyd bei der Schwefelsäurebereitung, die Rolle eines Sauerstoffträgers.

Dass die organische Materie der Blutkörperchen an der Verbrennung Antheil nehme, dass sie nach und nach in binäre Verbindungen zerfalle, kann nicht wohl bezweifelt werden; gewiss rührt aber der grösste Theil des Brennmaterials von dem flüssigen Theil des Blutes her. Berechnen wir die mittlere Blutmenge eines Mannes zu 20 ℔ und die normale Quantität der Blutkörperchen nach *Andral* à 127 pro mille, so giebt dieses 1270 Grm. Blutkörperchen, deren Kohlenstoffgehalt à 50 % zu 635 Grm. angenommen werden kann. Wenn nun die Kohlensäureproduktion auf Kosten der Blutkörperchen allein erfolgen sollte, so müsste die Gesammtmasse derselben je in ohngefähr zwei Tagen verbrannt und wieder erneuert sein. In der Anämie beträgt der Gehalt an Blutkörperchen nach *Andral* häufig nur die Hälfte, bisweilen nur ein Sechstel von der normalen Menge; der Totalumsatz dieses Stoffes müsste somit hier in noch viel kürzerer Zeit vollbracht

sein.[1] Mit der Annahme einer solch' raschen physiologischen Metamorphose steht aber die Schwierigkeit, mit der bekanntlich die Blutkörperchen sich reproduciren, in unvereinbarem Widerspruche.

Die Blutkörperchen besitzen, der Kohle und anderen porösen Stoffen scheinbar analog, die Fähigkeit, Gasarten zu absorbiren; der Sauerstoff wird von ihnen weit stärker angezogen, als die Kohlensäure; auf diesem Verhalten beruht die physiologische Action dieser Organtheilchen. *Liebig* (in seinem berühmten Werke: die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie, Braunschw. 1842) leitet diese Eigenschaft von dem Eisengehalt her, und nimmt an, dass in dem schwarzen Blute das Metall als Oxydul, in dem rothen als Oxyd vorhanden sei; — eine geistreiche und exacte Theorie, womit sich alle chemischen und physiologischen Thatsachen in Einklang bringen lassen.

Wenn schwarzes Blut mit Sauerstoff in Berührung gebracht wird, so nehmen die Blutkörperchen, die sich

[1] Unter sonst gleichen Umständen muss mit der Anzahl der Blutkörperchen zugleich die Sauerstoffaufnahme, der Verbrennungsprocess und die Wärmeerzeugung vermindert sein; die Natur hat aber Mittel, diesem verderblichen Sinken der chemischen Action entgegenzuarbeiten; der Herzschlag wird frequent und stürmisch, die Circulation ist mit besonderen Geräuschen begleitet, die Respiration ist angestrengt, die einzelnen Blutkörperchen nehmen mit verstärkter Energie den Sauerstoff auf, daher nicht selten ein florides Aussehen dieser Kranken. Es erklären sich hieraus die plethorischen Zustände der Bleichsüchtigen; — ein Symptomencomplex, der nicht uneben mit dem Namen *febris alba* bezeichnet wurde.

dadurch röthen, Sauerstoff auf, die eisenfreie Blutflüssigkeit dagegen verhält sich zunächst indifferent. Der aufgenommene arterielle Sauerstoff kann nun durch zweierlei Umstände veranlasst werden, mit organischer Materie sich zu Kohlensäure und Wasser zu combiniren. Erstens kann dieses geschehen unter Anwesenheit von überschüssigem Sauerstoff, und zweitens unter blosem Contact-Einflusse der Gefässwandungen und der Organe.[1] Im ersten Falle, wenn z. B. Blut mit vieler atmosphärischer Luft durch Schütteln in genaue und wiederholte Berührung gebracht wird, bleibt das Blut hellroth und die gebildete Kohlensäure wird gasförmig abgeschieden; im zweiten Falle wird das Blut schwarz und die gebildete Kohlensäure wird von den Blutkörperchen aufgenommen. In den Lungen finden beide, den Uebergang des Sauerstoffes an die organische Substanz bedingenden Momente, nemlich die Anwesenheit von überschüssigem Sauerstoff und der Contact-Einfluss zugleich statt, und es muss unter diesen Umständen ein Theil des aufgenommenen Sauerstoffes durch das Blutroth, wie durch einen Leiter, hindurch wandern, während der übrige Theil in den Blutkörperchen bleibt und die rothe Farbe derselben bedingt; der erste Theil bildet mit organischer Materie des Blutes Kohlensäure und Wasser, der andere Theil tritt an die Stelle der venösen Kohlensäure der Blutkörperchen, und sämmtliche Kohlensäure wird bei dem im Ueberschusse

[1] Allmählig erfolgt dieser Process auch von selbst in dem aus der Arterie gelassenen Blute.

vorhandenen Sauerstoff, vielleicht nach dem Diffusions-Gesetze (?) ausgeschieden.

Da unter dem Contact-Einflusse der Lungencapillaren der Kohlen- und Wasserstoffgehalt des strömenden Blutes Sauerstoff-entziehend auf die Blutkörperchen influirt, so lässt sich voraussehen, dass die letzteren in den Lungen nicht vollständig sich sättigen können, und findet man z. B., dass die Lungen des todtgeborenen Kindes durch Lufteinblasen höher geröthet werden, als die gesunden Lungen durch die Respiration.

Jedes Individuum ist während seines Lebens oftmals äusseren Veränderungen unterworfen, und der chemische Process im Körper muss, wenn Existenz und Gesundheit bewahrt werden sollen, sich gleichzeitig bald erhöhen bald vermindern, die Oxygenation der Blutkörperchen in den Lungen und die Reduktion im Körper muss unter verschiedenen Umständen in verschiedenem Grade vor sich gehen können, der ganze Process darf sich nicht innerhalb zu enge gesteckter Grenzen bewegen. Hierauf beruht die sog. Breite der Gesundheit.

Beobachtungen, die ich in den Tropen machte, lehrten mich die Rolle kennen, welche die Blutkörperchen bei dem Verbrennungsprocesse im Körper spielen. Während einer hunderttägigen Seereise war bei der aus 28 Köpfen bestehenden Equipage kein erheblicher Krankheitsfall vorgekommen; wenige Tage aber nach unserer Ankunft auf der Rhede von Batavia verbreitete sich epidemisch[1] eine acute (katarrhalisch-entzündliche)

[1] In der Seesprache heisst die Schiffsmannschaft „Volk".

Affection der Lungen. Bei den reichlichen Aderlässen, welche ich machte, hatte das aus der Armvene gelassene Blut eine ungemeine Röthe, so, dass ich der Farbe nach glauben konnte, eine Arterie getroffen zu haben. Zugleich war das Blut sehr reich an Faserstoff,[1] der Kuchen blieb fest an den Wandungen der Schüssel hängen, und nach 12—16 St. hatten sich gewöhnlich nur einige Löffel voll wasserhellen Serums abgesondert; niemals aber zeigte sich eine *crusta phlogistica*. Nach drei Wochen, binnen derer wir nach Surabaya gesegelt waren, verschwanden die Brustleiden, bald aber traten Ruhren und acute Leberkrankheiten auf, welche, so wie das von schwarzen Schönen überkommene Contagium, unser Schiff bis zum Kap der guten Hoffnung begleiteten. Da die Militär-Aerzte von dem Hospital Simpang auf Surabaya mir die Venäsectionen bei akklimatisirten Europäern als gewagt bezeichnet hatten, so beschränkte ich mich fast durchgängig auf örtliche Blutentziehungen. Bei einer reichlichen Aderlässe, welche ich zwei Monate nach unserer Ankunft in Java an einem kräftigen, von einer Leberentzündung befallenen Matrosen anstellte, fand ich eine normale schwarze Farbe des Blutes.

Aus den bisher betrachteten Gesetzen folgt mit

[1] Eine Ausnahme machte ein Matrose, Bornet. Von Brustleiden verschont, wurde er zur nemlichen Zeit von einer heftigen *iritis syphilitica* befallen, gegen welche unter anderem zwei Venäsectionen in Anwendung gebracht wurden. Das Blut war reich an dunkelschwarzem Cruor, an Faserstoff dagegen arm.

Nothwendigkeit, dass der Temperaturunterschied zwischen der Eigenwärme des Organismus und der Wärme des umgebenden Mediums in einer Grössenbeziehung mit dem Farbenunterschiede beider Blutarten, des Arterien- und des Venenblutes stehen müsse. Je grösser dieser Temperaturunterschied, oder die Kraftproduktion, um so grösser muss auch der Farbenunterschied, und je kleiner der Unterschied der Temperatur, um so kleiner auch der der Farbe sein. Dieser Farbenunterschied ist ein Ausdruck für die Grösse des Sauerstoffverbrauches, oder für die Stärke des Verbrennungsprocesses im Organismus.

Wir erinnern hier an die Temperatur- und Farbenverhältnisse der kaltblütigen Thiere, der Winterschläfer, des Fötus, der Blausüchtigen, an die helle Röthe des Blutes, die *Thackrah* beobachtete, als er einem Patienten im warmen Bade zur Ader liess, endlich an die Farbenverschiedenheit des venösen Blutes in den verschiedenen Jahreszeiten, wie sie seit Autenrieth bekannt ist. In die letzte Kategorie fallen die so eben angeführten Beobachtungen. Die Temperaturdifferenz hatte in offener See 15 und mehr Grade betragen, die Luft war bewegt, kühlend; an der Javanischen Küste war die Differenz durchschnittlich kaum 5°, die Luft selten stark bewegt, oft ganz stagnirend. Die Natur hatte nun die Aufgabe, in einem entsprechenden Grade den chemischen Process zu vermindern, und dieses geschah zunächst dadurch, dass die arteriellen Blutkörperchen in den Capillaren des Körpers nur unvollkommen reducirt wurden, woher die arterielle Farbe des Venen-

blutes. Bei längerem Aufenthalte in der heissen Zone treten aber andere Verhältnisse ein; in Folge eines veränderten Einflusses des. Lungengewebes auf das in ihren Capillaren enthaltene Blut, — in Folge einer Umstimmung des Organs, die wir nicht näher zu bezeichnen im Stande sind —, und wahrscheinlich auch in Folge einer chemischen Veränderung der Blutkörperchen, werden diese in den akklimatisirten Individuen die Träger einer geringeren Menge von Sauerstoff, und während zuvor das Venenblut an Röthe dem Arterienblute nahe kam, wird jetzt das Arterienblut durch seine Schwärze dem Venenblute der kälteren Zone ähnlich; die Röthe der Wangen geht verloren und der Akklimatisirte erhält die bekannte atrabilarische Gesichtsfarbe.

Wie das Blut der Pflanze einen gegebenen mechanischen Effekt, das Licht, in eine andere Kraft, in chemische Differenz verwandelt, so erzeugt der Muskel auf Kosten der in seinen Capillargefässen aufgewendeten chemischen Differenz den mechanischen Effekt. Die freie Wärme vermag weder der Pflanze für die Sonnenstrahlen, noch dem Thiere für den chemischen Process Ersatz zu bieten; jede thierische Bewegung geht unter Verbrauch von Sauerstoff, unter Bildung von Kohlensäure und Wasser vor sich; jeder Muskel, dem die Zufuhr von atmosphärischem Sauerstoff abgeschnitten wird, stellt seine Funktionen ein.

Während die Fasern sich beugen, und der Muskel,

ohne eine Volumensveränderung zu erleiden, sich verkürzt, wird die bald bedeutende, bald geringe Leistung hervorgebracht; gleichzeitig geht in den Capillaren des Muskels ein Oxydationsprocess von statten, dem eine Wärmeproduktion entspricht; von dieser Wärme wird bei der Aktion des Muskels ein Theil „latent" oder aufgewendet, und dieser Aufwand ist proportional der Leistung, oder dem Produkte aus dem gehobenen Gewichte in die Höhe, oder dem Produkte aus dem bewegten Gewichte in das Quadrat der Geschwindigkeit, oder überhaupt: dieser Aufwand ist proportional dem erzeugten mechanischen Effekt. Der Muskel, um in einer bekannten Terminologie zu reden, verwendet Wärme im *status nascens* zu seiner Leistung.

Näheres über die Art und Weise, *wie* das Organ, der Muskel, die Metamorphose einer chemischen Differenz in mechanischen Effekt vollbringt, wissen wir nicht zu sagen. In unzähligen Fällen gehen die Umwandlungen der Materien und der Kräfte auf anorganischen und organischen Wegen vor unseren Augen vor, und doch enthält jeder dieser Processe ein für das menschliche Erkenntnissvermögen undurchdringliches Mysterium. Die scharfe Bezeichnung der natürlichen Grenzen menschlicher Forschung ist für die Wissenschaft eine Aufgabe von praktischem Werthe, während die Versuche, in die Tiefen der Weltordnung durch Hypothesen einzudringen, ein Seitenstück bilden zu dem Streben des Adepten. —

Kennt man die Grösse der Leistung eines Muskels, so kennt man *eo ipso* auch die Grösse der verwendeten

chemischen Kraft; bei den meisten willkürlichen Bewegungen combiniren sich aber die Actionen einer ziemlich grossen Anzahl von Muskeln, und die Leistungen, welche ein und derselbe Muskel bei verschiedenen Contractionen vollbringt, sind von so verschiedener Grösse, dass es schwer hält, allgemeine quantitative Bestimmungen aus den speciellen Fällen zu abstrahiren.

Ueber die Leistung und den Verbrauch des Herzens wurden oben S. 73 annähernde Berechnungen angestellt; wir wollen damit nun eine willkürliche Muskelaction, die der Wadenmuskeln nemlich, vergleichen, wobei wir die von *Valentin* (Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 1844 II. 169) gegebenen Zahlen zu Grunde legen. Wir nehmen an, dass ein starker Mann durch eine mässig kräftige Zusammenziehung dieser Muskeln, auf einem Fusse stehend, sein Körpergewicht einen par. Zoll hoch heben kann, wobei der, der Verlängerung des mittleren Ansatzes der Achillessehne entsprechende Punkt der Fusssohle nahe an $1^1/_2$ Zoll vom Boden entfernt wird. Hiernach ist nun, wenn man das Körpergewicht zu 150 ℔ annimmt, die durch die einmalige Contraction des *m. gastrocnemius, soleus* und *plantaris* bewirkte Leistung = 6250 Grm. auf 1′ gehoben, was der Verbrennung von $\left\{\begin{matrix}\text{0,646 Milligrm.}\\ \text{0,0104 Gran}\end{matrix}\right\}$ Kohlenstoff, oder $5^0,53$ Wärme äquivalent ist. Das Gewicht der in Rede stehenden drei Muskeln betrug bei einer von *Valentin* vorgenommenen Wägung 896,9 Grm., und hiernach schätzen wir die Menge des in den Capillargefässen dieser Muskeln enthaltenen rothen Blutes im

Minimum auf $^1/_{15}$ der Fleischmasse, oder auf 60 Grm. (= 2 Unzen); der Kohlenstoffgehalt von Fibrin und Albumin beträgt 2,7 Grm., folglich beträgt der bei einmaliger kräftiger Contraction verbrauchte Kohlenstoff etwa $^1/_{4200}$ von dem im capillaren Plasma des wirkenden Muskels enthaltenen Kohlenstoffes.

Die zur Verbrennung obiger 0,646 Milligrm. Kohlenstoff erforderliche Sauerstoffmenge ist = 1,7 Milligrm. Wir nehmen nun mit *Liebig* an, dass in dem rothen Blute das Eisen (annähernd) als Oxyd, in dem schwarzen Blute als Oxydul vorhanden sei, und finden, dass die in 60 Grm. Blut enthaltenen 48 Milligrm. Eisenoxyd bei ihrem Durchgang durch die Capillargefässe der genannten Muskeln 4,8 Milligrm. Sauerstoff abgeben, welches beinahe das dreifache der exigirten Quantität beträgt.

Bei dieser Rechnung wäre noch zu berücksichtigen, dass ein Theil des verwendeten Sauerstoffes mit Wasserstoff zu Wasser sich verbindet, und dass dieser Theil etwas mehr Wärme gibt, als der, welcher Kohlensäure bildet (etwa im Verhältniss = 4 : 3); dass ferner durch die Reduktion des Eisenoxyds in Oxydul, und durch Verbindung der gebildeten Kohlensäure mit dem Oxydul etwas Wärme einerseits „latent" anderseits frei wird. Endlich kommt noch hinzu, dass wir die Grösse der wärmeliefernden Fähigkeit organischer Materien nicht kennen, sondern nur nach ihrem Kohlen- und Wasserstoffgehalt zu schätzen vermögen, wobei wir insbesondere über die Rolle, welche der integrirende Sauerstoff bei der Wärmeerzeugung spielt, in Unge-

wissheit sind. Aus dem Allem geht hervor, dass hier nur annähernde Resultate gewonnen werden konnten; immerhin wurde aber die Muskelleistung gross genug und die Blutmenge, resp. der chemische Process, klein genug angenommen, um aus vorstehenden Zahlen mit Sicherheit den Schluss ziehen zu können, dass der chemische Process in Wirklichkeit mehr als hinreiche, um den zur Leistung nöthigen Aufwand zu bestreiten; ja wir müssen sogar als höchst wahrscheinlich den Satz aussprechen, dass der Muskel auch bei der angestrengtesten Zusammenziehung nicht im Stande sei, die ganze aus dem chemischen Processe resultirende Kraft, ohne gleichzeitige Entwicklung freier Wärme, in mechanische Leistung zu verwandeln; mit anderen Worten: dass der chemische Process stets grösser sei, als der Nutzeffekt. Gleiches findet bei den anorganischen Bewegungsapparaten, den Dampfmaschinen und Schiessgewehren, statt. (Vergl. o. S. 31).

Die Leistung der linken Herzkammer wurde oben (S. 73) = der Hebung von 1 Kil. auf 1′ gefunden; auf gleiche Massen reducirt, verhält sich nun bei einmaliger Contraction die Leistung der Wade zu der des Herzens

$$= 6250 \times 136 : 1000 \times 896{,}9 = 20 : 21.$$

In Verbindung mit den myodynamometrischen Messungen *Schwann's* u. a. leitet dieses Resultat zu dem Satze: dass die mittlere Leistung eines Muskels bei einmaliger Contraction proportional ist der Masse des Muskels, oder dem Produkte aus der Zahl seiner Primitivfasern in deren Länge.

Diese These, welche sich durch Einfachheit und innere Wahrscheinlichkeit empfiehlt, kann aber keine Anwendung finden, wo es sich um eine fortgesetzte Arbeit verschiedener Muskelparthien handelt. Nehmen wir wiederum das Gewicht des linken Ventrikels nach *Valentin* = 136 Grm., das der gesammten Muskulatur aber = 32,000 Grm., und setzen wir wie oben (S. 74) die tägliche Leistung des linken Ventrikels = 202,000 ℔', die tägliche Gesammtleistung der willkürlichen Muskeln (S. 62) = 1'850000 ℔', so verhält sich die Leistung des Herzens zu der der übrigen Muskulatur, auf gleiche Massen reducirt,

= 202,000 × 32,000 : 1'850000 × 136 = 25 : 1,

und es ist also im Verhältniss zur Masse die tägliche Leistung des Herzens 25mal grösser, als die der willkürlichen Muskeln, ja selbst während der Arbeitszeit (diese zu 8 St. gerechnet) ist das Herz noch mehr als achtmal thätiger.

Auch mit der Leistung einer einzelnen Muskelgruppe verglichen, stellt sich die Präponderanz des Herzens auf das augenfälligste heraus. Wenn man auf einem Fusse stehend mittelst des *m. gastrocnemius, soleus* und *plantaris* (so man einen solchen besitzt) — übrigens unter Ausschluss der Mitwirkung des *m. tibialis posticus, peronaeus longus et brevis* — die Ferse 1½" in die Höhe hebt, so entspricht diese Leistung, die Niemanden schwer fällt, ungefähr einer Systole der Herzventrikel; will man aber diese Arbeit den Pulsschlägen isochronisch fortsetzen, so wird man sich gar bald genöthigt sehen, von der Concurrenz mit dem

Herzen abzustehen, denn wie gelähmt werden die Muskeln auch dem angestrengtesten Willen den Dienst versagen; nach kurzer Pause kann die Arbeit von Neuem beginnen u. s. f. Die Thatsache ist jedem Menschen bekannt, ihre richtige Erklärung aber ist ein physiologisches Problem von Wichtigkeit; sie folgt aus dem bisherigen von selbst. Es setzt die Muskelleistung einen entsprechenden Vorrath von atmosphärischem Sauerstoff, von arteriellem Blute voraus; da nun der Wiederersatz des Verbrauchten an eine bestimmte Zeitdauer geknüpft ist, so findet die Summe der Leistungen hierin eine Grenze, die in einer gegebenen Periode nicht überschritten werden kann; wenn der Vorrath von arteriellen Blutkörperchen in den Capillaren des Muskels verbraucht ist, so hat die Action ein Ende. Bei einmaliger Zusammenziehung wird nun die Leistungsfähigkeit nahe proportional sein der arteriellen Blutmenge, die in den Capillaren des ruhenden Muskels sich aufzuhalten pflegt — dem Blutvorrathe, der wiederum mit der Masse des Muskels im Verhältnisse steht —; wo es sich aber um die Summe der Leistungen handelt, welche ein Muskel in längerem Zeitraume hervorzubringen fähig ist, da verliert die ursprünglich gegebene Blutmenge ihre Bedeutung, und es kommt an ihrer Stelle die grössere oder geringere Leichtigkeit des fortlaufenden Wiederersatzes in Betracht; mit andern Worten: es hängt dann die Productivität des Muskels einzig von der Menge des durchströmenden Blutes ab. *So ist also die dauernde Leistungsfähigkeit nicht der Masse des Muskels,*

sondern sie ist der Masse des durchkreisenden Blutes proportional. Die momentane Leistung hängt mit den myologischen, die dauernde mit den angiologischen Verhältnissen des Bewegungsapparates zusammen.

Das Herz, welches allen Organen das Blut zusendet, hat sich selbst bei dieser Austheilung wie billig zuerst bedacht. Zwei Schlagadern von verhältnissmässig sehr beträchtlicher Grösse führen seiner Substanz das arterielle Blut zu, dessen Circulations-Geschwindigkeit grösser ist als in allen anderen Organen. Es folgt dieses aus der Ursprungsstelle der Kranzarterien am Anfange der Aorta, aus der Kürze des Weges, den das Blut zurückzulegen hat, und aus der Anordnung der Herzvenen; diese ergiessen sich in eine gemeinschaftliche kelchartige Ausmündung, *ostium venae magnae*, unmittelbar in den rechten Vorhof, und bieten so der Aspiration eine bedeutende Fläche dar, wodurch, während das Venenblut anderer Organe gegen einen centrifugalen Druck zu kämpfen hat, das Blut des Herzens in centripetaler Richtung fortgezogen wird.

Wird das Herz durch die Regulatoren seiner Thätigkeit, durch die Nerven vom Rückenmarke aus zu vermehrten Actionen veranlasst, so wird diesem Muskel gerade durch die vergrösserte Leistung unmittelbar auch der nöthige Stoff in grösserer Menge zugeführt; bei sehr verminderter Thätigkeit dagegen erhält sich die Circulation im Herzen selbst am längsten, und dieses Organ kann noch fortfahren, chemische Kraft sich zuzuführen und zu verarbeiten, wenn

der Pulsschlag am Handgelenke schon lange aufgehört hat.

Im Gegensatze mit dem, zu grosser Thätigkeit berufenen, Herzen zeichnet sich das Fleischpolster, womit uns Natur den Rücken gedeckt hat, ebensowohl durch indolentes Verhalten, durch geringe tägliche Leistung, als durch Gefässarmuth aus; die Muskeln der Extremitäten aber liegen in Beziehung auf Leistungsfähigkeit und Gefässreichthum in der Mitte, und zwischen diesen und dem Herzen liegen die unermüdlichen Intercostalmuskeln und das Zwerchfell. Durch Uebung werden die Muskeln vasculös, in anhaltender Ruhe aber werden sie blass. Muskeln, welche durch irgend eine Veranlassung andauernd dienstunfähig geworden sind, degeneriren in eine blutlose Masse; die Natur befolgt in weiser Sparsamkeit den Grundsatz: wer nicht arbeitet, soll auch nicht essen. Die Gebärmutter ist bald von Blute entblösst zu Leistungen unfähig, bald vermag sie, blutreich, kräftige Zusammenziehungen auszuüben. Die Wandungen der Blutgefässe selbst bedürfen, um sich activ zusammenziehen zu können, einer arteriellen Blutzufuhr; durch blosse Elasticität dagegen wird kein mechanischer Effekt producirt, daher vermögen die gelben elastischen Bänder, ohne functionelles Blut zu erhalten, ihren Zweck zu erfüllen.

Die in den Capillaren des Körpers allenthalben vor sich gehende Oxydation von Brennmaterial erzeugt eine entsprechende Menge von Wärme. Der ruhende Muskel verhält sich hier wie jeder andere bewegungs-

lose Theil, der thätige Muskel dagegen verwendet Brennmaterial zur Produktion mechanischer Effekte. Bei jeder Muskelaction wird Wärme im *status nascens* „latent". Wenn nun der Blutdurchlauf oder der chemische Process im Muskel nicht gleichzeitig und verhältnissmässig mit der Leistung verstärkt ist, so muss die Wärmeproduktion im Muskel während der Arbeit geringer sein als in der Ruhe.

Besteht die Leistung in der Erhebung von 150 ℔ auf 1″, so beträgt die latente Wärme $5^0,53$; wenn nun diese Leistung, wie oben angenommen wurde, als das Resultat einer Zusammenziehung von 896,9 Grm. Muskelsubstanz erfolgt, so beträgt der Wärmeverlust dieser Muskelmasse (die Wärmecapacität des Fleisches = der des Wassers gesetzt) bei einmaliger Contraction

$$\frac{5^0,53}{896,9} = \frac{1^0}{160}.$$

Bei fortgesetzter Arbeit summirt sich dieser Wärme-Defect und kann durch Beobachtung wahrgenommen werden. Hieher gehört, was oben S. 68 über den Antagonismus von Wärme- und Bewegungs-Produktion allgemein gesagt wurde. *Douville (Journal de Chim. méd. VIII. Ann. Fevr.)* fand die Temperatur

bei einem Neger	faul und unthätig	in der Kabane	37^0
desgl.	desgl.	in der Sonne	$40^0,20$
desgl.	thätig	in der Sonne	$39^0,75$.

Wenn man bei grosser Kälte eine anstrengende Arbeit beginnt, so empfindet man ein Frostgefühl in den thätigen Körpertheilen. Der Holzsäger wechselt

des Winters beim Beginn seines Tagewerkes häufig mit der Säge, denn durch den Handschuh hindurch friert ihn, bis er sich warm geschafft hat, in den arbeitenden Arm. Das Sägenblatt etc. erhitzt sich; den Ursprung dieser Wärme kennen wir genau; sie verdankt ihr Dasein einer Oxydation in den Capillaren der Muskeln. Ein gewandter Schmied bringt ein kaltes Stück Eisen durch Hämmern in's Glühen; diese Wärme aber entsteht auf Kosten der Temperatur seines Armes. *Ex nihilo nil fit.*

Der Wärmeausfall während der Arbeit würde weit bemerkbarer sein, und die Leistungsfähigkeit der willkürlichen Muskeln wäre in enge Grenzen eingeschlossen, wenn nicht während der Arbeit sowohl örtlich als allgemein der chemische Process erhöht wäre. Der angestrengte Körpertheil turgescirt; öffnet man hier eine Vene, so entströmt das Blut in verstärktem Masse. Die Respirations- und Circulations-Bewegungen werden reflectorisch erhöht, wenn der Organismus mechanische Effekte producirt; bei jeder angestrengten Arbeit beschleunigen sich Athem und Herzschlag, und zwar für eine gleiche Leistung aus leicht begreiflichen Gründen um so stärker, je schwächer der chemische Process in dem ruhenden Individuum vor sich geht; eine Leistung, die dem Kräftigen nur wenige Athemzüge kostet, kann in blutleeren, chlorotischen, cyanotischen, scorbutischen Subjecten turbulente Vermehrung der Respiration und Circulation, Erstickungszufälle und Herzzappeln hervorrufen.

Aber auch die kräftigsten Menschen und Thiere

gerathen bei starker Produktion von mechanischem Effekte, z. B. beim raschen Besteigen einer Anhöhe, zumal belastet, in Athem und Herzklopfen. Die Natur ist darauf bedacht, ihrem Geschöpfe das nöthige Material zu seiner Anstrengung beizuschaffen.[1] Mit dem Zusammenhange chemischer und mechanischer Actionen unbekannt, waren die Physiologen ausser Stande, diese einfache und allbekannte Thatsache richtig zu erklären. So sagt *Valentin*, *Physiol.* Bd. I. S. 576: „Ein Mensch,

„welcher einen Berg besteigt, athmet mühsamer, „weil er behufs der Correktion der Veränderung „seines Schwerpunktes seinen Oberkörper nach „vorn beugen muss, und weil auf diese Weise, in- „dem zugleich Gehbewegungen vollführt werden, „die Thätigkeit seiner Athemmuskeln auf bedeu- „tendere Schwierigkeiten stösst. Aus ähnlichen „Gründen verstärkt sich auch die Respiration eines „Menschen, welcher läuft, springt, tanzt u. dergl."

Das Irrige dieser Erklärungsweise liegt auf der Hand. In der Ruhe tritt auch bei der unbequemsten Körperstellung keine vermehrte Respiration ein, und gerade beim Springen und Tanzen, beim Laufen bergab und bergan und auf der Ebene, beim Besteigen einer hohen Treppe etc. stösst die Thätigkeit der Athemmuskeln auf keinerlei Schwierigkeit, insbesondere aber

[1] Bei fortgesetzter und übermässig gesteigerter Anstrengung kann der quantitativ erhöhte Stoffwechsel eine qualitative Veränderung erleiden und in einen pathologischen Process ausarten. Die septischen Erscheinungen, welche man an den zu Tode gehetzten Thieren wahrnimmt, lassen sich hieraus erklären.

bleibt die Vermehrung der Lufteinfuhr, des Sauerstoffverbrauches, der Kohlensäure-Produktion, des Bedürfnisses nach Combustibilien, wie sie bei der Arbeit, beim Bergsteigen etc. constant statt findet, so lange unerklärt, als statt des vermehrten Erfolges nur die vermehrte Anstrengung bei der Respiration des Arbeiters einseitig in's Auge gefasst wird.

Wenn die Verstärkung des chemischen Processes im Organismus eingeleitet ist, so wird damit auch freie Wärme in grösserer Menge producirt (Vergl. o. S. 70), die Temperatur der Körperoberfläche wird erhöht, und es erfolgt Transpiration. Bemerkenswerth aber ist, dass die thätigsten Körpertheile am wenigsten zu schwitzen pflegen. Kräftige Bauernmädchen, deren Hände beim Stricken u. dergl. in starken Schweiss gerathen, können schwere Feldarbeiten verrichten, ohne dass die Haut ihrer Arme und Hände feucht wird. Auf die Schweissbildung, welche an dem, keine mechanischen Effekte producirenden, Kopfe während der Arbeit erfolgt, deutet schon *Moses* hin, wo Gott zu Adam spricht: „Im Schweiss deines Angesichts sollst du dein Brod essen."

Die Fähigkeit eines lebendigen Gewebes, chemische Kraft in mechanischen Effekt verwandeln zu können, heisst *Irritabilität.*

Um eine möglichst klare Einsicht in die Natur dieser organischen Qualität zu gewinnen, wollen wir dieselbe mit einer Eigenschaft gewisser anorganischer

Materien zusammenstellen, mit der Fähigkeit der Gasarten, Wärme in mechanischen Effekt zu verwandeln — mit der *Expansibilität*, und müssen zu dem Ende einige Hauptsätze, welche sich auf die Wärme- und Bewegungsverhältnisse der expansibeln oder elastisch flüssigen Materien beziehen, in Kürze hier anführen.

Wenn zu einer unter constantem Drucke sich befindenden Gasart eine bestimmte Menge von Wärme = x hinzutritt, so wird ein Theil dieser Wärme zur Temperaturerhöhung des Gases verwendet, und dieser Theil = y besteht als freie Wärme fort, ein anderer Theil wird „latent“ und bringt den mechanischen Effekt = z hervor. Es ist nun

$$x = y + z.$$

Setzen wir den in den Capillaren eines Muskels vor sich gehenden Oxydationsprocess, oder die diesem entsprechende Wärme = x′, die wirklich entwickelte freie Wärme = y′, und den gelieferten mechanischen Effekt = z′, so ist wieder

$$x' = y' + z'.$$

Nach der in der Mechanik befolgten mathematischen Methode wird die physische Kraft z oder z′ als ein Produkt aus einem Druck oder Zug in den Wirkungsraum dargestellt. Es ist nun dieser Druck bei Gasen sowohl als bei Muskeln dem Wirkungsraume umgekehrt proportional. Der von einem Gase ausgeübte Druck steht mit der Expansion des Gases in umgekehrtem Verhältnisse: Boyle'sches oder Mariotte'sches Gesetz. Die Stärke des Zuges

nimmt proportional der Zunahme der Contraction des Muskels ab: Schwann'sches Gesetz.[1]

Da die Elasticität der Gase und die Irritabilität der Muskeln Eigenschaften sind, die sich auf die Metamorphose gegebener Kräfte beziehen, so ist die Existenz dieser Eigenschaften nothwendig an die Existenz der respectiven Kräfte geknüpft. Wo nichts ist, da lässt sich auch nichts umwandeln. Ohne Wärme ist keine Elasticität, ohne chemische Differenz, oder ohne chemischen Process, keine Irritabilität denkbar.

Der Temperaturgrad, bei welchem die Elasticität erlischt, ist *ceteris paribus* bei verschiedenen Gasarten bekanntlich sehr verschieden. Es gründet sich hierauf die Eintheilung in permanente Gasarten und in Dämpfe.

Das Dasein der Irritabilität ist an das Vorhandensein

[1] Man kann sich die Entstehung des mechanischen Effektes z oder z' so vorstellen, dass bei der Ausdehnung des Gases, oder bei der Zusammenziehung des Muskels, ein Gewicht P in vertikal aufsteigender Richtung den Weg h zurücklegt. Der Druck ist nun = P, der Wirkungsraum = h, und es ist $z = P \times h$. Da aber von dem Gase oder dem Muskel durch den Wirkungsraum hindurch kein gleichförmiger, sondern ein abnehmender Druck ausgeübt wird, so muss dem Gewichte P auf jedem Punkte von h ein anderer Werth zukommen. Man bezieht nun, um einen bestimmten Werth von P zu erhalten, den Druck zunächst nicht auf die explicite Linie h, sondern nur auf einen Punkt dieser Linie, oder man setzt den Wirkungsraum $h = 0$. Mit dem Factor h wird auch das Produkt $z = 0$. Für den speciellen Werth $z = 0$, und $x = y$, heisst P der „statische Druck“, und auf diesen beziehen sich die im Texte genannten Gesetze. Für den Muskel wird $x' = y'$, und $z' = 0$, wenn der Vorrath von arteriellem Blute in den Capillaren ein unveränderlicher bleibt, (wie beim Gase die Temperatur) und auf diesen Fall ist das Schwann'sche Gesetz zu beziehen.

von capillarem Sauerstoff und Kohlenstoff geknüpft; das Mass der nothwendigen Menge physischer Kraft, oder das mögliche Minimum derselben, ist aber, wie bei den Gasarten, so auch hier bei verschiedenen Muskelfasern sehr verschieden. Es gründet sich darauf die bekannte graduelle Verschiedenheit der *Irritabilitäts-Permanenz*, oder der Lebenszähigkeit verschiedener Thierclassen.

Bei grosser Permanenz können Thiere ihren Lebensfunctionen unter Einfuhr einer geringen Sauerstoffmenge obliegen, der Respirationsact kann längere Zeit ohne Nachtheil unterbrochen werden, und asphyktische Zustände gehen nur allmählig in wahren Tod über. Bei Thierarten mit geringer Permanenz ist dagegen eine ununterbrochene reichliche Sauerstoffaufnahme die unerlässliche Bedingung der Muskelirritabilität, und die Schwächung des chemischen Processes führt alsbald zu Asphyxie und Tod.

Nach eingetretenem Tode sind die Muskeln der ersten Kategorie noch geraume Zeit im Stande, sich kräftig zusammenzuziehen, dagegen sinkt die Leistungsfähigkeit nicht permanenter Muskeln mit dem Augenblick des Todes plötzlich herab und ist in Kurzem spurlos verschwunden.

Die Bewegungs-Apparate kaltblütiger Thiere zeigen sich im Allgemeinen den permanenten Gasen, die der warmblütigen Thiere aber den Dämpfen analog.

Der Zeitraum, binnen dessen die Muskeln eines getödteten Thieres die Fähigkeit, sich zusammenzuziehen, behalten, oder die Dauer der Reizbarkeit

hängt von zweierlei Momenten ab; erstens von der Irritabilitäts-Permanenz des Muskels an und für sich, und zweitens von der Anwesenheit des zur chemischen Action nöthigen Materials. Wo das Letztere fehlt, da erlischt die Irritabilität auch bei der grössten Permanenz; ist dagegen dieses Material reichlich vorhanden, so kann, einer geringen Permanenz ungeachtet, noch Reizbarkeit gefunden werden.

Es wurde oben, S. 31 angegeben, dass durch die Verbrennung von einem Gewichtstheile Kohlenstoff eine Last von 9'670000 Gewichtstheilen 1', oder von 116 Millionen Gewichtstheilen 1" hoch gehoben werden könne. Der zu einzelnen schwachen Contractionen nöthige Verbrauch muss hiernach seiner Kleinheit wegen aufhören, eine wahrnehmbare Grösse zu sein; erst durch Summirung der Einzelleistungen wird dieser Verbrauch mehr und mehr bemerkbar. Durch wiederholte Leistungen muss durchgängig die Dauer der Reizbarkeit abgekürzt werden, denn der Vorrath an Oxygen und Brennstoff wird durch die Actionen erschöpft. Ein permanent irritabler Muskel mag im Stande sein, noch einige kräftige Leistungen zu vollbringen, nachdem ein grosser Theil seines capillaren Blutes durch Wasser-Injection entfernt worden war, an Ausdauer aber muss er dem nicht injicirten Muskel nothwendig nachstehen. Der Zutritt von atmosphärischer Luft und eine den chemischen Process begünstigende mässige Wärme verlängert aus leicht begreiflichen Gründen die Dauer der Reizbarkeit, am kräftigsten aber wird der zusammensinkenden Irritabilität durch Zufuhr von Oxygeniphoren

unter den Arm gegriffen; mithin, wenn die Irritabilität des Herzens aus Mangel an chemischem Material zu erlöschen droht, so lässt sich oft noch durch die Transfusion Hilfe schaffen. Die oben S. 101 gegebene beiläufige Berechnung gab das Resultat, dass bei einer kräftigen Zusammenziehung der Wadenmuskeln circa $^1/_3$ des disponibeln capillaren Sauerstoffes und $^1/_{4200}$ des Kohlenstoffes zu mechanischem Effekte verbraucht werde. Das gleiche Verhältniss muss für die Herz-Action gelten. Aus diesen Zahlen ergibt sich unmittelbar die bekannte praktische Lehre, dass „das belebende Princip“ in den Blutkörperchen und nicht in dem *liquor sanguinis* enthalten sei.[1]

Bei den Reptilien ist die Dauer der Reizbarkeit durchschnittlich grösser, als bei den Fischen; hieraus dürfen wir jedoch noch nicht auf eine grössere Irritabilitäts-Permanenz schliessen, da jene Dauer von dieser Permanenz und von der in den Capillaren vorhandenen disponibeln Sauerstoffmenge zugleich abhängig ist.

Das Arterien- und Venenblut der Reptilien vermengt sich beständig miteinander; viele Blutkörperchen legen, ohne neuen Sauerstoff aufgenommen zu haben, wiederholt den Weg durch die Körper-Capillaren zurück. Hieraus ist zu schliessen, dass die Blutkörperchen der Reptilien die Bestimmung haben, nur allmählig ihren Sauerstoff in dem Körper abzugeben, und dass sie diesen Sauerstoff fester zurückhalten, als die Blut-

[1] Die verderblichen Folgen, welche nach der Infusion einer, wenn auch nur geringen, Quantität heterogener Blutkörperchen schnell eintreten, lassen sich dermalen nicht erklären.

körperchen derjenigen Thierklassen, bei denen keine Mengung von Arterien- und Venenblut statt hat. Die Reptilien sind durch ihre Lebensverhältnisse zum Theil darauf angewiesen, eine geraume Zeit ohne Sauerstoffzufuhr auszudauern, in irrespirable Gasarten, in Wasserstoff oder Stickstoff gebracht, fahren sie eine Zeit lang Kohlensäure zu bilden fort. Zieht man dabei noch in Betracht, dass den Reptilien der Sauerstoff in einer viel concentrirteren Form dargeboten ist als den Fischen, so gelangt man zu dem Schlusse, dass die Blutkörperchen der Reptilien in ihren physiologischen Verhältnissen sich von den Blutkörperchen der Fische unterscheiden: 1) durch eine in den Capillaren der Respirationsorgane erfolgende stärkere Ladung mit Sauerstoff, und 2) durch eine successive Entladung in den Capillaren des Körpers.

Je grösser ein Blutkörperchen ist, um so mehr Sauerstoff wird dasselbe aufzunehmen und zurückzuhalten im Stande sein. Es ergibt sich hieraus eine einfache Beziehung zwischen den physiologischen Verrichtungen der Blutkörperchen und ihren Volumens-Verhältnissen, und wir müssen zugleich in der Grösse dieser Körperchen ein bedeutungsvolles Moment für die Dauer der Reizbarkeit anerkennen. In der That finden sich die grössten Blutkörperchen und die längste Dauer der Reizbarkeit: bei den nackten Amphibien; mittlere Grösse und mittlere Dauer: bei den beschuppten Amphibien; die kleinsten Blutkörperchen und die geringste Dauer unter den kaltblütigen Wirbelthieren: bei den Fischen.

Es wurde oben gesagt, dass durch gute Dampf-

maschinen ungefähr $^1/_{20}$, durch Geschütze $^1/_{10}$,[1] durch Säugethiere $^1/_5$ der Verbrennungswärme in mechanischen Effekt umgewandelt werden könne. Fragen wir jetzt, wie gross ist der von den Muskeln in mechanischen Effekt verwandelte Theil der aufgewendeten Kraft? Heisst diese Kraft x', der mechanische Effekt z', so wird gefragt, wie gross ist $\frac{z'}{x'}$? oder, wie wir der Kürze wegen diesen Bruch nennen wollen, wie gross ist der mechanische Quotient des Muskels? Je grösser dieser Quotient ist, je mehr er sich der Einheit nähert, um so vortheilhafter, oder um so ökonomischer arbeitet der Muskel.

Bei dem Mangel an experimentalen Bestimmungen, deren Auffindung hier mit kaum überwindlichen Schwierigkeiten verknüpft ist, müssen wir uns mit Vermuthungen und Wahrscheinlichkeiten begnügen. Diese in kurze Worte zusammengefasst, gelangen wir zu folgenden allgemeinen Sätzen: 1) Je stärker in einem Thiere der chemische Process oder die Kohlensäurebildung ist, um so kleiner ist der mechanische Quotient, und um so geringer ist im Verhältniss zur Wärmeproduktion die mechanische Leistung. 2) Nach Analogie der elastischen Flüssigkeiten ist der mechanische Quotient bei permanent irritabeln Muskeln am grössten.

Es ergeben sich hieraus für die Wirbelthiere folgende Verhältnisse:

1 Bei diesen beispielsweise gegebenen Bestimmungen wurde die Verbrennungswärme von Stein- und Holzkohlen der des Kohlenstoffes gleich gesetzt.

Kohlensäurebildung am stärksten, mechanischer Quotient und Irritabilitäts-Permanenz am kleinsten: bei den Vögeln.

Kohlensäurebildung etwas schwächer, mechanischer Quotient und Permanenz etwas grösser: bei den Säugethieren.

Kohlensäurebildung gering, Quotient und Permanenz gross: bei den Reptilien.

Geringste Kohlensäurebildung, grösster Quotient und grösste Permanenz (?) bei den Fischen.[1]

In dem Fötus ist der chemische Process weit schwächer, als in dem Neugeborenen; dieses geht schon aus dem im Fötal-Zustande fehlenden Farbenunterschiede der beiden Blutarten hervor. Die Produktion mechanischer Effekte durch Herz und willkürliche Muskeln ist dagegen vor und nach der Geburt ungefähr gleich gross. Es folgt hieraus, dass der mechanische Quotient vor der Geburt viel grösser sein muss, als nach derselben. Mit der Geburt ändert sich auch die

[1] Unter den Wirbelthieren kommt offenbar den warmblütigen bei gleicher Körpergrösse die grösste dauernde Leistungsfähigkeit zu. Sie wurde von der Natur unter Aufopferung ökonomischer Rücksichten erzielt, denn die warmblütigen Thiere verbrauchen im Verhältniss ihrer Leistung mehr Brennmaterial als die kaltblütigen. Die letzteren oxydiren wenig; bei reichlich eingeführter Nahrung nehmen sie entweder schnell an Masse zu, oder sie entleeren grosse Mengen von Combustibilien durch den Darm und das Genitalien-System. Die Dampfmaschinen sind den warmblütigen Thieren zur Seite zu stellen; sie haben grosse Leistungsfähigkeit und kleinen mechanischen Quotienten. Ob es aber der Technik gelingen werde, „kaltblütige" und zugleich wirkungskräftige Bewegungs-Apparate herzustellen, ist vom physiologischen Standpunkte aus zu bezweifeln.

Irritabilitäts-Permanenz plötzlich; die Prognose in asphyctischen Zuständen ist bei geathmeten Kindern ganz anders zu stellen als bei ungeathmeten. Es ist also:

Der chemische Process klein, der m. Quotient und die Irritabilitäts-Permanenz gross: beim Fötus.

Der chemische Process gross, der m. Quotient und die Irritabilitäts-Permanenz klein: bei dem Geborenen. —

Wird die zwischen der Elasticität der Gase und der Muskel-Irritabilität gezogene Parallele weiter fortgeführt, so theilt sie das Schicksal aller Analogieen; die anfangs naturgemässe Vergleichung wird bald eine gekünstelte und verliert sich zuletzt in Paradoxen. Die Gase sind formlose Materien, die Muskeln aber sind organisirt, und ihre Actionen hängen mehr oder weniger von dem Einflusse der motorischen Nerven ab; diesen specifischen Einfluss, dem die expansibeln Flüssigkeiten an und für sich nichts Entsprechendes zeigen, nennen wir *Innervation.*

Die Innervation, die Irritabilität und der chemische Process sind die drei Faktoren der Muskelthätigkeit. Die erste hat ihren anatomischen Sitz in dem Gehirn- und Nervenmark, die zweite in der Primitiv-Faser des Muskels, und der Herd des dritten liegt in den Capillar-Gefässen.

Die Action des Muskels, die Umwandlung von chemischer Kraft in mechanischen Effekt, wird auf geheimnissvolle Weise durch einen Contact-Einfluss bedingt, der erfahrungsgemäss dem Nervensysteme zukommt. Insoferne die Bewegungs-Apparate in verschiedenem Grade von diesem Einflusse abhängig

sind, werden sie eingetheilt in willkürliche und unwillkürliche. Stellen wir uns eine Dampfmaschine vor, von der ein Theil arbeitet, sobald Dampf erzeugt wird, ein anderer Theil aber nur auf Veranstaltung des Maschinisten sich in Bewegung setzt, so haben wir auch hier willkürliche und unwillkürliche Bewegungs-Apparate. Der Maschinist vermag nur mittelst eines gewissen Kraftaufwandes seinen Einfluss auf die ihm zur Disposition gegebenen Apparate geltend zu machen; dieser Kraftaufwand aber ist, verglichen mit der herbeigeführten Maschinen-Leistung, ein verschwindend Kleines und lässt sich überhaupt bei wachsender Vervollkommnung des Apparates kleiner als jede gegebene Grösse machen. Ebenso nun müssen wir es nicht nur für möglich, sondern sogar für wahrscheinlich erklären, dass die Innervation, ohne merklichen Aufwand einer physischen Kraft, ohne eine elektrische Strömung und ohne einen chemischen Process überhaupt, ihre Herrschaft auf die Muskelaction ausübe.

Gewisse Veränderungen in der Innervation und im chemischen Processe stellen die Ermüdung und Erschöpfung dar.

Sobald die Leistung im Verhältniss zu dem gegebenen physiologisch-chemischen Processe zu gross wird, so muss örtliche oder allgemeine Erschöpfung eintreten. Wenn sich die zum chemischen Process nöthigen Materialien nach eingestellter Leistung wieder sammeln, so erfolgt die Herstellung der Leistungsfähigkeit; es kann dieses in einigem Grade selbst in dem todten Muskel noch geschehen.

Das physiologische Dogma von einem Verbrauche der **Reizbarkeit** durch die Action beruht, in seiner Allgemeinheit aufgefasst, offenbar auf einem Irrthum. Die unermüdliche Thätigkeit der wichtigsten Muskeln in der thierischen Oekonomie müsste als Ausnahme betrachtet werden, und ein Grundgesetz, von dem so bedeutende Ausnahmen gelten sollen, steht auf schwacher Basis.

So lange der chemische Process in angemessener Weise vor sich geht, so lange ist auch keine innere Nothwendigkeit vorhanden, dass die Leistung des Muskels ein Ziel finden müsste. Werden die Muskeln eines kräftigen Individuums mässig angestrengt, und fehlt es dabei weder an atmosphärischem Sauerstoff, noch an hämatischem Brennstoff, so bleibt auch bei fortgesetzter Arbeit die Irritabilität eine unveränderliche Grösse.

Der Schlaf, dessen das *Sensorium commune* sich nicht entbrechen kann, hebt zuletzt die Innervation auf und setzt so der willkürlichen Produktion mechanischer Effekte ein Ziel. Die Muskeln und die Nerven aber schlafen nicht. Die dem Willen dienenden Muskeln können im tiefsten Schlafe Bewegungen vollbringen; ein passendes Mahl und die zur Sanguification nöthige Ruhe bringt dem durch körperliche Anstrengung Erschöpften grössere Stärkung als ruhiger Schlaf bei leerem Magen. Pferde restauriren stehend ihre erschöpfte Kraft; reichliche Nahrung dient ihnen besser als gepolsterte Kissen.

Die Cetaceen setzen ihre Schwimmbewegungen

auch während des Schlafes fort, und die Zugvögel mögen zum Theil instinctartig, wie die Nachtwandler, ihren Weg verfolgen. An jeder Stelle im weiten Ocean lassen sich Vögel (namentlich Schwalben) blicken; diese Thiere legen eine Strecke von tausend und aber tausend Meilen [1] in ununterbrochenem Fluge zurück.

Erschöpfung tritt ein, wenn bei fortgesetztem Verbrauche kein angemessener Wiederersatz statt findet, oder wenn der chemische Process durch zu grosse Anstrengung über das physiologische Mass gesteigert wird; hier haben wir also stets ein absolutes oder relatives Uebermass producirter mechanischer Effekte.

Indessen können auch Anstrengungen, mit denen keine mechanische Leistungen verknüpft sind, Ermüdung herbeiführen, und es steht diese mit dem chemischen Processe oder mit dem Blute in keiner Beziehung.

Die Anstrengung darf nicht verwechselt werden mit der Leistung. Zu einer Leistung ist durchaus erforderlich, dass die eigene oder eine fremde Last wirklich in die Höhe gehoben oder fortbewegt werde; die Grösse der Leistung wird gemessen durch diese Last, multiplicirt mit der Höhe, oder mit dem Quadrate der Geschwindigkeit. Die Leistung eines Mannes, der mit grosser Anstrengung ein Gewicht frei hält,

[1] Man darf sich nicht vorstellen, als ob die Vögel in offener See einen bestimmten Cours einhielten, wie die Delphinenschaaren und die Schiffe, welche den nächsten Weg suchen. Diese Vögel durchkreuzen vielmehr zur See, wie auf dem Festlande, in jeder Richtung die Luft.

oder Stundenlang unbeweglich gerade steht u. s. w. ist = Null; ein Gleiches, ja noch viel mehr, kann auch eine hölzerne Figur vollbringen.[1]

Die Ermüdung scheint hier von dem anhaltenden Druck auf die Nervenverzweigungen herzurühren; die damit verbundene Sensation ist dem sog. Einschlafen eines Gliedes nicht unähnlich. Die Arbeiter *Coulomb's* weigerten sich, einen Tag lang unbelastet Treppen auf und abzusteigen. Diesem psychischen Acte, den man unter den Begriff „Gewissen" subsumiren kann, steht eine somatische Verrichtung der Nerven zur Seite; sie mahnen das Individuum, von zweckwidrigen Unternehmungen abzustehen. Um ein Gewicht frei schwebend zu erhalten, dazu ist weder der Thierorganismus, noch die Dampfmaschine das passende Instrument; die besten Dienste leistet hier ein hänfener Strick. *Suum cuique.*

Die schmerzhafte Ermüdung, welche ohne erhebliche Produktion mechanischer Effekte eintritt, unter-

1 In Beziehung auf die Quantität einer mechanischen Leistung ist man leicht grosser Täuschung unterworfen. Diesen Umstand wissen die Jongleurs zu benützen und sich durch Gewandtheit den Anschein grosser Kraftentwicklung zu geben. Auch bei der Betrachtung krankhafter Zustände kann man leicht durch das Schreckenerregende etc. irregeleitet, auf grosse mechanische Leistung da schliessen, wo nur ein geringer, oder gar kein Effekt producirt wird. Die Kraftentwicklung ist während furibunder Delirien gewiss nie so bedeutend, als bei einer angestrengten physiologischen Thätigkeit. Der Gesammt-Effekt, den der Epileptische während des Anfalles producirt, kann nur sehr gering sein. Die Leistung der Kaumuskeln im Trismus ist = Null; ebenso die Leistung der Gesammt-Muskulatur in der Todtenstarre.

scheidet sich, so weit man ausschliesslich physiologische Verhältnisse im Auge hat, von der durch Stoffverbrauch bedingten Erschöpfung in zwei Hauptpunkten. Da die Primitiv-Nervenfasern unter sich nicht anastomosiren, so bleibt die nervöse Ermüdung auch in ihren höchsten Graden stets local, sie beschränkt sich ohne Ausnahme auf die wirklich in Anspruch genommenen Muskelgruppen. Die Erschöpfung dagegen, wenn sie nicht durch ein nur momentanes Uebermass der Leistung schnell vorübergehend erzeugt wurde, verbreitet sich gleichförmig über das ganze Muskelsystem. Der Arm, der von einer anhaltenden Extension ermattet niedersinkt, vermag unmittelbar darauf sich kräftig zu beugen; den ruhenden Arm der entgegengesetzten Seite befällt die Ermüdung nicht; dagegen sind nach einer anstrengenden Fuss-Tour die Arme so wenig, als die Füsse zu weiteren Leistungen aufgelegt. Da ferner bei der Anstrengung ohne Leistung kein Verbrauch zu mechanischen Zwecken statt findet, so schliesst die Ermüdung *sine materie* auch in ihren höheren Graden die Leistungsfähigkeit keineswegs aus; es besteigt der Gelehrte, welcher gegen die Regeln der Diätetik den Tag über an dem Pulte sich müde gestanden, am Abend zu seiner Erholung noch einen nahe gelegenen Berg. Die Erschöpfung dagegen, ein Vorgang *cum materie,* hebt jede Leistungsfähigkeit auf; zur Wiederherstellung der letzteren bedarf es der Zufuhr geeigneter Stoffe. Der Hunger, welcher in Folge der Arbeit eintritt, hängt von der Grösse des producirten mechanischen Effektes, und nicht von dem Grade der

Anstrengung an und für sich ab, und dem entsprechend ist auch der Sauerstoffverbrauch nur bei wirklicher Leistung gesteigert.[1]

Ausser dem Blut und den Nerven kommen bei der Ermüdung auch noch die Cohäsions-Verhältnisse der muskulösen und fibrösen Theile in Betracht. Durch zu grosse Belastung, Zerrung der Faser, werden die motorischen Apparate in ihrer Thätigkeit gestört, und es wird dadurch eine besondere Art von Ermüdung herbeigeführt, die sich nicht in kurzer Frist, nicht durch Ruhe, noch durch Stoffzufuhr, beseitigen lässt, sich vielmehr gerade während der Ruhezeit mehr und mehr entwickelt, und, dem coxalgischen Schmerze gleich, durch Bewegung sich wieder vermindert. In diese Kategorie gehört der spannende Schmerz, den man in dem *m. rectus femoris* etc. empfindet, wenn man Tags zuvor von einer steilen Anhöhe rasch herabgestiegen ist. In den höheren und höchsten Graden stellt die Zerrung der Faser chirurgische Krankheitsformen, das Verziehen, Verstauchen, Verrenken dar.

Die verschiedenen Momente nun, die der Thätigkeit gesunder Bewegungsapparate hemmend in den Weg zu treten vermögen, combiniren sich in den Einzelfällen auf eine wechselvolle Weise. Hier, wie in

1 Während einer grossen Anstrengung pflegt man den Athem anzuhalten, um aus dem Brustkorbe eine feste Stütze für die Bewegungs-Organe sich zu schaffen; hieran knüpft sich jedoch noch nicht nothwendig ein vermehrter Verbrauch. Beim Holzspalten, Treppensteigen u. dgl. m., wird Niemand den Athem an sich zu halten versucht sein.

jedem physiologischen und pathologischen Processe, spielt Organologisches und Chemisches, Solidares und Humorales, Nerv und Blut gleichzeitig seine Rolle, und es mögen die Lebenserscheinungen einer wundervollen Musik verglichen werden, voll herrlicher Wohlklänge und ergreifender Dissonanzen; nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente liegt die Harmonie, in der Harmonie nur liegt das Leben.

Ueber das Fieber.

Ein iatromechanischer Versuch.

Quo teneam vultus mutantem Protea nodo?
Hor.

(Aus Wunderlichs Archiv der Heilkunde, Jahrgang 1862.)

Die Naturlehre hat in neuerer Zeit durch die Auffindung des Gesetzes „von der Unzerstörbarkeit der Kraft“ eine wesentliche Bereicherung erhalten. (Man vergl. hierüber u. a. Revue des deux mondes: Sur l'esprit de la physique moderne. Août 1858.) Es sagt dieses Gesetz im Wesentlichen: dass die Wärme, die Bewegung (d. h. die sog. lebendige Kraft oder „Arbeit“ der Mechaniker), sowie das Licht und die Elektricität, verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben unzerstörlichen, messbaren Objectes sind, so dass z. B. Bewegung in Wärme und diese wieder in jene sich verwandeln lässt, wobei in jedem Falle die ins Spiel gesetzte quantitas vis constant bleibt. Hiernach ist die Wärme als Imponderabile zugleich auch eine Kraft, die Bewegung als (lebendige) Kraft ein Imponderabile, oder allgemein: Kräfte und Imponderabilien sind synonyme Begriffe.

Der Verfasser hat es versucht, mit Zugrundelegung dieses physikalischen Princips physiologische Lehrsätze zu gewinnen und hat hierüber, namentlich unter Benützung der Schrift Liebig's: Die organische Chemie in

ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie 1842, eine kleine Broschüre veröffentlicht unter dem Titel: Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. Heilbronn 1845. Da aber bei dem Leser dieser Zeilen eine Bekanntschaft mit diesem Schriftchen nicht vorausgesetzt werden darf, so müssen die dort niedergelegten Grundlinien des physiologischen Lebensprocesses, soweit sie zum Verständniss des Weiteren erforderlich sind, hier kurz wiederholt werden.

Denken wir uns einen gesunden, kräftigen Mann von mittlerem Alter, dessen leiblicher Organismus bei allem Wechsel der Lebenserscheinungen Tage, Wochen, Monate, Jahre lang als eine im Ganzen unveränderliche Grösse betrachtet werden kann. Der Körper dieses Mannes producirt fortwährend Wärme, welche an die niedriger temperirte Umgebung wieder abgesetzt wird; zugleich liefert derselbe aber auch Tag für Tag eine gewisse Quantität von mechanischer Arbeit oder lebendiger Kraft der Bewegung, welche man beim fleissigen Arbeiter dem siebenten Theil einer Pferdekraft gleichsetzt. Nun lässt sich aber diese mechanische Leistung unseres Mannes durch Reibung, Stoss, Luft-Compression in Wärme umsetzen, und es ist eben wiederum diese mittelbar entwickelte Wärme das Aequivalent oder das Mass der gelieferten Arbeit. Rechnen wir nun die vom Körper an die Umgebung abgesetzte unmittelbare und diese letztere mittelbar producirte Wärme zusammen, so ist diese Kraftsumme das Mass oder das Aequivalent eines chemischen Effects, der gleichzeitig in dem lebenden Körper vor sich geht. Die

Lungen nehmen elektronegativen Sauerstoff, der Magen dagegen nimmt in Form von Speisen und Getränken elektropositive Stoffe auf, und das Endresultat einer Reihe von Lebenserscheinungen ist die Ausscheidung dieser zuvor chemisch getrennten Stoffe in verbundenem oder verbranntem Zustande.

Es ist hier mit der Kraft wie mit dem Stoffe. Wenn wir unsern Mann in dem Zwischenraume von 8 Tagen zweimal abwägen und sein Körgergewicht unverändert finden, so schliessen wir daraus, dass derselbe genau so viel Materie von der Aussenwelt aufgenommen als wieder an dieselbe abgegeben hat. Ebenso, wenn der Körper trotz der Kraftabgabe unverändert erhalten werden soll, so muss die Grösse des in ihm vorgehenden Verbrauchs, oder der thermische Effect des im Körper vor sich gehenden chemischen Processes das Aequivalent sein für die Summe der auf unmittelbare u n d mittelbare Weise entwickelten Wärme.

Mit Berücksichtigung bekannter physiologischer Verhältnisse stellt sich nach dem Bisherigen der Respirations- und Circulationsprocess auf folgende Weise dar. In den Lungen nehmen die Blutkörperchen eingeathmeten Sauerstoff in sich auf und führen denselben als Oxygeniphoren durch den Körper. Unter dem Contacteinflusse der Capillargefässe und dem Einflusse des Nervensystems aber tritt dieser Sauerstoff mit elektropositiven Bestandtheilen des liquor sanguinis in chemische Verbindung, und durch diesen Oxydationsact wird die animalische Wärme, beziehungsweise die o r g a n i s c h e B e w e g u n g producirt. „Das Blut, eine

langsam brennende Flüssigkeit, ist das Oel in der Flamme des Lebens“ (a. a. O. S. 90). Während Wärme an und für sich bei jedem Oxydationsprocesse entsteht, so ist der Thierkörper mit specifischen Organen, der contractilen Muskelfaser ausgerüstet, welche von arteriellem Blute durchsetzt wird, und diese Fähigkeit der Muskeln, chemischen Effect in mechanische Arbeit umzusetzen, heisst bekanntlich Irritabilität.

In der praktischen Mechanik, in der Technologie, pflegt man die Leistung der Bewegungsapparate, der Motore, als Nutzeffect in Procenten des Gesammtverbrauchs zu berechnen und auszudrücken. Hat man z. B. eine Wassergasse, in welcher das Product aus der einlaufenden Wassermasse in die Fallhöhe fünfzig Pferdekräfte repräsentirt, und wird dadurch ein Rad, das die Arbeit von 15 Pferden verrichtet, umgetrieben, so liefert dieses Werk 30 % Nutzeffect. Auf gleiche Weise lässt sich die Leistung von Dampfmaschinen, von Geschützen und von arbeitenden Thieren und Menschen in Procenten des stattfindenden Verbrauchs ausdrücken. Berechnungen dieser Art machen aber die Kenntniss des mechanischen Aequivalents der Wärme, das die einer gewissen Menge von Wärme entsprechende mechanische Arbeitsgrösse angibt, erforderlich. Mit Hilfe dieser constanten Zahl habe ich in meiner erwähnten Schrift (S. 69 u. 70) den Nutzeffect des Pferdes und des Arbeiters zu etwa 16 bis 17 % berechnet und ebendaselbst (S. 68 u. 107 u. f.) auch auf den zwischen der unmittelbaren Wärmebildung und der mechanischen Leistung nothwendig stattfindenden

Antagonismus hingewiesen. Je mehr nämlich bei gleichem Verbrauche Arbeit geliefert wird, desto weniger wird unmittelbare Wärme gebildet, wie auch umgekehrt wieder die Wärmebildung auf Kosten der Arbeit erfolgt.

Wenn der Organismus erkrankt, so ist eine Verminderung des mechanischen Nutzeffects das allgemeinste und am meisten in die Augen springende Symptom, und es wird auch wohl im Allgemeinen der Grad dieser Verminderung als Massstab für die Stärke der Erkrankung zu betrachten sein. In einer grossen Klasse von Krankheiten treten zugleich augenfällige Veränderungen in der Wärmeproduction, Circulation, Respiration und Digestion auf — ein Symptomencomplex, den man mit dem Collectivnamen Fieber bezeichnet. Bei dem dermaligen Stande der Hilfswissenschaften, der Chemie, Physik und Physiologie ist aber die allgemeine Pathologie noch weit entfernt eine inductive Wissenschaft zu sein, wo sich die Einzelerscheinungen und Symptome in gesicherter Weise auf Principien zurückführen liessen. „Gewiss ist noch für lange Zeit keine Aussicht vorhanden, dass es gelingen werde, die richtige Erklärung der krankhaften Zustände aufzufinden. Leichter wird man eine Quinterne treffen, als eine Reihe verwickelter Naturprocesse durch Suppositionen errathen“ (a. a. O. S. 83). Diess soll uns indessen von dem Versuche nicht abhalten, hierauf wenigstens einige Streiflichter zu werfen.

Die Verminderung der Arbeitsproduction ist, wie wir soeben gesehen, ein constantes Symptom der

Erkrankung im Allgemeinen und der fieberhaften Erkrankung insbesondere. Während ein gesunder fleissiger Arbeiter Tag für Tag ungefähr den sechsten Theil des Gesammtaufwandes von chemischem Effect in mechanische Arbeit umsetzt, wird bei schwerer Erkrankung diese letztere Grösse, oder der Nutzeffect, bis auf Null reducirt, und somit der ganze chemische Aufwand nur zur Wärmebildung verwendet. Auch bei Convulsionen und furibunden Delirien producirt das Muskelsystem weniger mechanische Arbeit, als bei gesunder Thätigkeit.

„In Beziehung auf die Quantität einer mechanischen Leistung ist man leicht grosser Täuschung unterworfen. Diesen Umstand wissen die Jongleurs zu benützen und sich durch Gewandtheit den Anschein grosser Kraftentwicklung zu geben. Auch bei der Betrachtung krankhafter Zustände kann man leicht durch das Schreckenerregende etc. irregeleitet, auf grosse mechanische Leistung da schliessen, wo nur ein geringer oder gar kein Effect producirt wird. Die Kraftentwicklung ist während furibunder Delirien gewiss nie so bedeutend, als bei einer angestrengten physiologischen Thätigkeit. Der Gesammteffect, den der Epileptische während des Anfalls producirt, kann nur sehr gering sein. Die Leistung der Kaumuskeln im Trismus ist = Null; ebenso die Leistung der Gesammtmusculatur in der Todtenstarre.“ (a. a. O. S. 123 Anm.)

Anders als mit der Thätigkeit der willkürlichen Muskeln verhält es sich aber mit der Herzleistung. Denn bei fieberhaften Erkrankungen findet bei weitem in der Mehrzahl der Fälle eine anhaltende Beschleunigung der Herzcontractionen statt, und dabei ist gar oft der Puls zugleich voll und gespannt, woraus dann auch auf eine erhöhte Energie der einzelnen Contractionen geschlossen werden muss. Da nun die Grösse der

mechanischen Leistung des Herzens für eine gewisse Zeit, z. B. für 1 Minute (vergl. m. organ. Bew. S. 73, und Archiv f. physiol. Heilk. 1851. S. 512) durch das Product aus der Zahl der Schläge in die Grösse der Einzelleistung gemessen wird, so folgt daraus, dass das Herz bei fieberhaften Erkrankungen oftmals weit mehr als im Normalzustande leistet. Es sei z. B. bei einem Fieberkranken sowohl die Anzahl der Herzschläge, als auch die Stärke der Einzelleistung (d. h. der Effect der Systole) je um $^1/_3$ vermehrt, so verhält sich in diesem Falle die Herzkraft im gesunden Zustande zu der im kranken = 9 : 16, und wenn also die Herzarbeit eines gesunden Mannes etwa auf $^1/_{125}$ Pferdekraft anzuschlagen ist, so wäre sie in vorgedachten Krankheitsverhältnissen auf $^1/_{70}$ Pferdekraft gesteigert. In vielen andern Fällen ist aber zwar die Frequenz erhöht, die Energie dagegen vermindert, woraus sich ergibt, dass bei Fieberkranken (in sog. asthenischen Fiebern) die Totalleistung des Herzens weit unter den Normalstand sinken kann. In der Agonie hat die Frequenz gewöhnlich ihr Maximum erreicht, während die Energie auf ein Minimum herabgedrückt ist. Hier ist aber auch die Totalleistung des Herzens gewiss im Verhältniss zur gesunden Thätigkeit nur sehr gering, im Erlöschen begriffen, woraus wir zu schliessen haben, dass der zweite Factor der Herzkraft, die Energie, in viel grösserem Maasstabe vermindert, als der erste Factor, die Frequenz, erhöht ist.

Was nun die Wärmeverhältnisse im fieberhaft erkrankten Organismus im Gegensatz zum gesunden

Zustande betrifft, so ist hier sowohl die subjective Wärmeempfindung des Kranken, als auch die wirkliche Temperatur des Fieberkörpers bald vermindert, bald vermehrt. Das erstere, die subjective Wärmeperception des Kranken betreffend, so kann dieselbe bekanntlich mit den objectiv oder thermometrisch wahrnehmbaren Warmeverhältnissen im Widerspruch stehen und ist diese Wahrnehmung als eine specielle Erscheinung des gestörten Gemeingefühls offenbar in einer Alteration des sensiblen Nervensystems begründet. Die zweite Erscheinung, die objective Temperaturveränderung des fieberkranken Organismus kann ihren Grund nur in einer Veränderung des die Wärme erzeugenden Blutverbrennungsprocesses und einem dadurch herbeigeführten Missverhältniss zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe haben. Im gesunden Zustande ist der Kraft liefernde Oxydationsact bekanntlich so regulirt, dass sich die Wärmeerzeugung genau nach dem durch die äussern Umstände bedingten Wärmeverlust richtet, wodurch die constante Temperatur der warmblütigen Geschöpfe ermöglicht und erzielt wird. (vergl. org. Bew. S. 95 u. f.) In der Kälte und bei der Arbeit ist also der chemische Process im Organismus viel lebhafter, als in warmer Luft und in der Ruhe. Diese Regulirung des chemischen Processes, d. h. diese Accommodation der Wärmeerzeugung an die sich nach den äussern Verhältnissen richtenden Bedürfnisse des Organismus ist nun im Fieber wesentlich gestört. So geschieht es zum Theil, dass die Wärme beim Fieberkranken trotz hoher Temperatur der umgebenden Luft,

trotz warmer Getränke und der dichtesten Umhüllungen sich vermindert zeigt, wobei die Herabdrückung des durch die Lungen vermittelten chemischen Processes als Brustoppression sich subjectiv bemerklich macht, während anderntheils wieder bei kühler Luft und leichter Bedeckung Hitze eintritt, wo dann aber auch bei beschleunigtem Athem die Brust wieder freier wird. Während hier die Wärmeentwickelung des fieberkranken Körpers eine regelwidrige Selbständigkeit und Unabhängigkeit von der durch die äusseren Umstände bedingten Wärmeabgabe zeigt, so manifestirt sich hinwiederum in vielen anderen Fällen die gestörte Regulation des Wärme erzeugenden chemischen Processes durch eine gesteigerte Abhängigkeit des ersten der genannten Factoren vom zweiten. Deckt sich der Kranke warm zu, so geräth er in Hitze, wenn er sich's aber leichter macht, so erkaltet er. Eine Gleichgewichtsstörung ersterer Art beobachten wir bei Febris intermittens, die der zweiten Art bei Febris continua und remittens.

Die Quantität der vom menschlichen Körper in einer gewissen Zeit, z. B. in 24 Stunden entwickelten Wärme lässt sich nicht wohl durch directe Versuche auch nur annäherungsweise bestimmen. Es ist diese Grösse bei einem gegebenen Individuum eine Function von der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgrade der allgemeinen Bedeckungen, von der Beschaffenheit der künstlichen Umhüllungen, von der Temperatur, der Bewegung und dem Feuchtigkeitsgrade des umgebenden Mediums und von der Quantität und Qualität der

ein- und ausgeführten Stoffe. Da nun alle diese Factoren auch unter völlig physiologischen Verhältnissen grossen Veränderungen unterworfen sind, so ist natürlich auch die von einem Individuum an die Umgebung abgesetzte Wärme eine sehr variable Grösse, auf welche wir nur von der Grösse des stattfindenden chemischen Processes aus einen Schluss ziehen können.

Versuche haben nun gezeigt, dass die Kohlensäureproduction, welche wir als Massstab für den stattfindenden chemischen Effect annehmen, in fieberhaften Zuständen bisweilen wirklich vorübergehend über das mittlere Mass erhöht ist. Im Ganzen genommen und auf den Tag berechnet, ist aber gewiss der chemische Effect beim Fieberkranken — wie in der Krankheit überhaupt — stets merklich geringer, als bei dem unter normalen Verhältnissen sich bewegenden Individuum. Grösser ist die Kohlensäure- und Wärmeproduction bei activem, sthenisch-entzündlichem, als bei passivem, asthenischem Fiebercharakter. In jedem Falle aber ist im fieberkranken Organismus die Regulation des chemischen Processes gestört. Während beim Gesunden die Kohlensäureproduction nach den Bedürfnissen des Körpers sich richtet, muss der Kranke seine Ausgaben an Wärme und mechanischer Arbeit dem stattfindenden chemischen Processe anpassen.

Man hat den Umstand der bei fieberkranken gefundenen, mit erhöhter Hauttemperatur gleichzeitig stattfindenden Verminderung der Kohlensäureproduction als Einwurf gegen die Theorie Lavoisier's geltend gemacht, welche die thierische Wärme ausschliesslich

als Product des chemischen Effects darstellt. Dabei hat man aber nicht bedacht, dass die Temperatur der Hautoberfläche für sich allein keineswegs ein Massstab für die vom Körper erzeugte und abgegebene Wärme ist. Denn abgesehen von der mechanischen Leistung, oder der auf indirectem Wege erzeugten Wärme, welche, wie wir oben gesehen haben, ebenfalls auf Kosten der Blutverbrennung geht, und welche beim Schwerkranken ganz fehlt, wo also der ganze chemische Process zur directen Wärmebildung verwendet wird, so hat der Fieberkranke viel mehr das Bedürfniss seine Wärme zusammenzuhalten, als im gesunden Zustande. Kann er dem nicht entsprechen, so tritt statt Hitze Frost ein. Dass dieses nach Umständen zum Heil des Kranken dienen kann, ist keine Einwendung gegen das Gesagte.

Noch verdient die aus der Herzthätigkeit resultirende Wärmeentwickelung Erwähnung. Es ist klar, dass die vom Herzen gelieferte mechanische Arbeit, welche zur Ueberwindung der Widerstände, welche das Blut auf seinem Wege findet, verwendet wird, sich im Organismus in Wärme umsetzt, und es lässt sich die Quantität dieser Reibungswärme, wenn man die Grösse der Herzkraft kennt, mit Hilfe des mechanischen Aequivalents der Wärme leicht bestimmen. Da aber die Herzaction lediglich aus dem chemischen Effect entspringt, den das von den Kranzarterien dem Herzen zugeführte Blut liefert, so ist auch die in physiologischen sowohl als pathologischen Verhältnissen aus der Herzaction resultirende Wärme, wie die Körper-

wärme überhaupt, auf Rechnung der Blutverbrennung zu bringen und stellt insofern keinen besondern Posten im Budget des Lebensprocesses dar.

Nachdem wir gesehen haben, dass im Fieber die Regulation der Wärmeentwickelung und der damit aufs engste verknüpften Kohlensäureproduction gestört ist, so ist schon hieraus auf eine Veränderung der chemischen Beschaffenheit der Säftemasse, also in erster Linie des Blutes, zu schliessen. Bekanntlich haben diess auch Beobachtungen längst nachgewiesen, und namentlich ist es der Faserstoff, der sich in fieberhaften Krankheiten bald auffallend vermehrt, bald vermindert zeigt, — ein Umstand, der für den Charakter und die Behandlung der Pyrexien von Wichtigkeit ist.

Die chemische Analyse vermag uns aber nach dem dermaligen Stande der Naturwissenschaften über die vitalen Processe keineswegs den nöthigen Aufschluss zu geben. Fassen wir einen mechanischen Process, z. B. das Herabfallen eines Gewichts auf den Erdboden ins Auge, so lässt sich sowohl der von dem Gewicht beschriebene Raum, als auch die von dem Gewicht auf jedem Punkte seines Weges erlangte Geschwindigkeit mathematisch construiren. Die Chemie dagegen, die Mechanik der Molecüle, hat es in jedem Falle mit einer unendlich grossen Anzahl einzelner Massentheile, den sog. Atomen zu thun, die von der unmittelbaren Berührung aus auf einander zu wirken beginnen und sich dabei in unmessbar kleinen Räumen bewegen. Es vermag uns desshalb diese Wissenschaft bis jetzt nur die Endpunkte solcher Aktionen vor die Augen

zu führen; das aber — worauf es eigentlich ankommt — was während der Action zwischen den unendlich vielen und unendlich kleinen Massentheilen in unendlich kleiner Zeit vorgeht, ist uns leider völlig verborgen, und dies ist denn auch der Grund, warum uns bei den Lebensvorgängen die Chemie im Stiche lässt. Bedenken wir, dass die Chemie als Wissenschaft von Lavoisier an gerechnet noch kein volles Jahrhundert zählt, so werden wir wohl hoffen dürfen, dass das „Nihil hominibus arduum est" auch hier in Erfüllung gehen wird und dass mit der Zeit Schwierigkeiten überwunden werden, die uns dermalen als ganz unübersteiglich erscheinen.

Uebrigens verweise ich, was die Rolle betrifft, welche das Blut im Organismus spielt, auf meine mehrerwähnte Schrift: Die organische Bewegung. Es ist nun auf keine Weise zu bezweifeln, dass dieser Blutverbrennungsprocess, welcher, wie oben gezeigt worden, die Bedingung jedweder organischen Kraftentwicklung ist, im Fieber auf eine vom Normalzustande abweichende Weise vor sich geht, und wir können nicht umhin, eben diese Störung des gesunden Blutumsetzungsprocesses als wesentlichen Factor derjenigen Krankheitserscheinungen zu betrachten, die man mit dem Collectivnamen „Fieber" zu bezeichnen pflegt. Sehen wir doch auch, dass die Verbrennungen in den Oefen, in den Lampen u. s. w. die mannigfaltigsten Störungen erleiden können. Zwischen dem, die Gesundheit bedingenden normalen Vorgange und zwischen dem Verwesungsprocesse liegt eine grosse Breite und innerhalb derselben

bewegen sich die chemischen Processe in den krankhaften Zuständen, in specie in den Fiebern. Ist uns aber der menschliche Mikrokosmus schon im gesunden Zustande das Räthsel der Sphinx, so gerathen wir vollends bei der Betrachtung der krankhaften Vorgänge in ein Meer von Fragen und Wundern.

In meiner Schrift „die organische Bewegung“ habe ich mich über die Veränderungen, welche die Säftemasse im gesunden und auch im kranken Zustande erleidet, mehrfältig ausgesprochen.

S. 76. „Wenn wir ein gesundes Thier tödten und wenige Tage nachher das Cadaver in rascher Selbstentmischung finden, so können wir uns allerdings veranlasst sehen, naturphilosophische Reflexionen über die Energie der Lebenskraft, die im Stande war, den mächtigen Process der Fäulniss zu verhindern, anzustellen; in Wahrheit laufen wir aber bei solchen Meditationen Gefahr, einen Spinnenfaden mit einem Kabeltau zu verwechseln. Ein anderes ist es, der Entstehung einer Feuersbrunst zuvorzukommen, ein anderes, dem entfesselten Elemente Schranken zu setzen. In den ersten Minuten oder Stunden nach dem Tode ist die Neigung zur Selbstentmischung (und dieser Neigung entspricht in dem mechanischen Processe des Fallens die Anziehung) eine sehr geringe; sie wächst durch ihre eigene Wirkung, durch die Anwesenheit der putreficirten Stoffe; in dem lebenden Organismus ist diese Neigung nach mathematischen Gesetzen kleiner noch, als in der Minute nach dem Tode, im Leben ist die Neigung zur Fäulniss ein verschwindend Kleines, die Kraft, welche wir dieser Neigung entgegenzusetzen haben, ist deren Grösse proportional, sie ist verschwindend klein, sie ist Null.

„Ein Fass voll frisch ausgepressten Traubensaftes wird bei mässiger Wärme und bei Anwesenheit von etwas Sauerstoff binnen kurzer Zeit in volle Gährung gerathen; angenommen aber, es liesse sich die Einrichtung treffen, dass die Gährungsproducte im Momente ihrer Bildung stets wieder entfernt würden (wie dieses durch ein fortwährendes Filtriren der ganzen Masse theilweise geschehen

könnte), so wäre, mittelst eines geringen täglichen Zusatzes von frischem Traubensaft, das Fass beständig voll von süsser, gährungsfähiger Masse zu erhalten. Eine allgemeine Gährung würde, so lange die Ab- und Zufuhr regelmässig fortdauert, nimmermehr zu Stande kommen.

„Zahlreiche Apparate sind nun im lebenden Thier unausgesetzt beschäftigt, zu filtriren, zu aspiriren, die chemischen Processe, zum Theil unter Aufwand von mechanischer Kraft, zu regeln, die Intensität dieser Processe zu erhöhen, ihre Extensität zu vermindern, die Zersetzungsproducte in abgesonderten Räumlichkeiten niederzulegen und sie sofort zu entfernen, vor allem aber der Bildung und Ansammlung putrider Fermente vorzubeugen.“

Ferner S. 79. „Wenn stagnirende Flüssigkeiten in Berührung mit lebendigen Gebilden sich lange Zeit unverändert erhalten, während sie ohne solche Berührung unter sonst gleichen Umständen sich entmischen würden, so müssen wir daraus schliessen, dass die festen Theile durch Secretion und Absorption einen Einfluss ausüben, durch welchen diese Flüssigkeiten nach rein chemischen Gesetzen in ihrer Mischung erhalten werden. Man erinnere sich hier an das, was kurz zuvor von einem Süssbleiben des gährungsfähigen Weinmostes beispielsweise erwähnt wurde. Diese nothwendige Annahme einer absorbirenden und secernirenden Thätigkeit der eine solche Flüssigkeit umgebenden Fläche steht mit bekannten anatomischen, physiologischen und pathologischen Verhältnissen im Einklange.

„Die flüssigen Materien besitzen, ihrer verschiedenen chemischen Beschaffenheit nach, eine sehr verschieden grosse Neigung zur Selbstentmischung; die Milch, der Wein, ein fettes Oel, der absolute Alcohol verhalten sich in dieser Beziehung höchst ungleich. Je reicher an organischen Bestandtheilen die im Körper eingeschlossene Flüssigkeit ist, um so grösser wird im Allgemeinen auch ihre Zersetzungsneigung sein. Die Wechselwirkung zwischen den umschliessenden Festtheilen und der eingeschlossenen Flüssigkeit, oder die absorbirende und secernirende Thätigkeit der Höhlenwandung muss um so grösser sein, je grösser die Zersetzbarkeit der eingeschlossenen Materie ist. Da nun diese Thätigkeit wiederum mit dem Gefässreichthum der betreffenden Theile im Verhältniss steht, so muss folglich die Zersetzbarkeit des Exsudats in Proportion stehen mit der Vasculosität der umkleidenden Membran.

„Die Zersetzbarkeit und Vasculosität ist im Minimum vorhanden bei den normalen Flüssigkeiten des Auges, dem Humor aqueus et vitreus, und den entsprechenden Umhüllungen. Gering sind ferner beide in vielen hydropischen Ausschwitzungen, Sackwassersuchten, bei der Hydrocele. Wenn nach wiederholter Paracentese der Bauch- oder Brusthöhle das Exsudat reicher wird an organischen Stoffen, so verdickt sich auch gleichzeitig die seröse Haut und wird blutreicher. Die Galle und die leicht zersetzbare Milch sind von gefässreichen Schleimhäuten umgeben, sie können sich bei fehlender Excretion lange unzersetzt erhalten. In ihrem anatomischen und physiologischen Verhalten sind den Schleimhäuten die Abscesswandungen ähnlich. Nach Oeffnung des Abscesses erhält der atmosphärische Sauerstoff Zutritt zu der angesammelten eitrigen Flüssigkeit, wodurch die Tendenz zur Entmischung ohne Zweifel gesteigert wird; zur Verhütung der fauligen Zersetzung muss der Blutreichthum der Abscesswandungen und die Wechselwirkung zwischen festen und flüssigen Theilen gesteigert werden. Man erinnere sich an die Operation des Empyems, an die Eröffnung grosser lymphatischer Abscesse, an die des Psoasabscesses.

Hat der örtliche pathologische Process eine gewisse Zeit lang gedauert, hat er eine gewisse Ausdehnung erhalten, so theilt er, wie die Erfahrung lehrt, der ganzen Säftemasse eine Zersetzungstendenz mit; die normwidrige Veränderung, welche ein Theil des Blutes in den Abscesswandungen fortwährend zu erleiden hat, um die faulige Zersetzung des Eiters zu verhindern, wird nach erlangter allgemeiner Ausbreitung, zum Consumtions-Fieber."

Während nun bei den hectischen Fiebern, wie bei vielen Entzündungen, seien dieselben reiner oder specifischer Natur, die örtliche Säfteverderbniss, dem System von Broussais gemäss, sich auf den Gesammtorganismus reflectirt, so treten umgekehrt bei den exanthematischen, rheumatischen und typhösen Fiebern örtliche Concentrationen in Folge einer schon zuvor entwickelten allgemeinen Blutveränderung auf.

Aber auch noch eine dritte Klasse von Fiebern

gibt es, bei welchen weder eine ursprünglich locale Cacochymie allgemein wird, noch eine allgemeine Cacochymie die locale nach sich zieht, nämlich die Wechselfieber. Es sind dieses Pyrexien, bei denen wenigstens nicht pathognomonisch nothwendig locale dyscrasiche Processe entweder veranlassend oder consecutiv auftreten. Diese Gattung von Fiebern würde ich gerne Nervenfieber nennen, wenn nicht, namentlich von der Laienwelt, dieser Ausdruck längst schon in anderer Bedeutung verwendet wäre.

Beiträge

zur

Dynamik des Himmels

in populärer Darstellung.

I.

Einleitung.

Jeder leuchtende oder glühende Körper verliert Licht und Wärme in dem Masse, als er davon ausstrahlt, und wird, wenn kein angemessener Wiederersatz statt findet, dunkel und kalt.

Das Licht besteht nemlich wie der Schall in Schwingungen, die sich von dem leuchtenden oder tönenden Körper wellenartig auf ein umgebendes Medium ausbreiten. Es ist nun vollkommen klar, dass ein Körper nur dann seiner Umgebung eine solche erzitternde Bewegung zu ertheilen vermag, wenn er sich selbst in einer ähnlichen Bewegung befindet; denn wo ein Körper im Zustande der Ruhe oder im Gleichgewichte mit seiner Umgebung ist, da ist eine Ursache zu wellenförmiger Bewegung nicht vorhanden. Soll eine Glocke oder eine Saite tönen, so muss durch eine äussere Gewalt die Glocke angeschlagen oder die Saite in Schwingung versetzt werden, und diese Gewalt ist die Ursache des Tones.

Würde die Saite sich bewegen, ohne irgend einen Widerstand zu erfahren, so könnte und müsste dieselbe

die ihr mitgetheilte Schwingung für alle Zeiten beibehalten, ein Ton würde aber hier nicht entstehen, denn ein solcher besteht wesentlich in der *Fortpflanzung* der Bewegung, und in dem Masse, als die Saite ihre Schwingungen der widerstandleistenden Umgebung mittheilt, verliert sie nothwendig selbst an Bewegung und kehrt dadurch endlich in den Zustand der Ruhe zurück.

Man hat oft und passend die Sonne mit einer immerfort tönenden Glocke verglichen. Wodurch wird aber dieser Himmelskörper, der auf eine so grossartige und herrliche Weise die Räume des Weltalls mit seinen Strahlen erfüllt, wodurch wird er in ewig ungeschwächter Kraft und Jugend erhalten? Wodurch wird einer endlichen Erschöpfung, einem Zustande des Gleichgewichtes vorgebeugt, damit nicht Nacht und Todeskälte die Räume des Planetensystems erfülle?

Der Enthüllung „des grossen Geheimnisses", wie *W. Herschel* die vorliegende Frage nennt, glaubten Manche dadurch näher kommen zu können, dass sie annahmen, durch die an und für sich völlig kalten Sonnenstrahlen werde nur der Wärme „stoff" in den Körpern, auf welche die Strahlen treffen, aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung versetzt; um diese kalten Strahlen auszusenden, müsse die Sonne nicht gerade ein erhitzter Körper sein, und es könne daher, der endlosen Lichtentwicklung ungeachtet, an ein eigentliches Erkalten der Sonne nicht gedacht werden.

Es ist klar, dass durch eine solche Erklärung nichts gewonnen wird, denn abgesehen von dem Hypothetischen eines bald ruhenden bald bewegten, oder

eines bald kalten bald warmen Wärmestoffes u. dgl. ist es eine genugsam festgestellte Thatsache, dass die Sonne kein kaltes, phosphorescirendes, sondern ein sehr intensiv-erwärmendes Licht ausstrahlt, und solche erwärmende Strahlen von einem kalten Körper herleiten zu wollen, widerspricht eben so sehr der Vernunft als der Erfahrung.

Natürlich konnten auch diese und ähnliche Hypothesen den Anforderungen einer exacten Wissenschaft nicht genügen, und ich will desshalb versuchen, auf eine allgemein verständliche Weise den hier obwaltenden Zusammenhang von Ursache und Wirkung genügender, als es bis jetzt geschehen, darzustellen, nicht ohne dabei die wohlwollende Nachsicht der Sachverständigen in Anspruch zu nehmen, denen die Schwierigkeiten solcher Untersuchungen bekannt sind.

II.

Quellen der Wärme.

Ehe wir zu den speciellen Gegenständen dieser Abhandlung übergehen, müssen wir die Frage erörtern, auf welche Weise überhaupt Wärme (und Licht) erzeugt werden kann.

Die Quellen der Wärme sind sehr mannigfaltig. Wärme, die in ihren höheren Graden immer mit Licht gepaart ist, entsteht bei jeder Verbrennung, bei der Gährung, bei der Fäulniss, beim Löschen des gebrannten Kalkes, bei der Mischung von Vitriolöl mit Wasser

oder mit Alkohol, bei der Zersetzung des Chlorstickstoffes, der Schiessbaumwolle u. dgl. Sie wird ferner hervorgebracht durch den elektrischen Funken und den sogenannten galvanischen Strom; sie zeigt sich bei der Reibung, beim Stosse, und erscheint als unzertrennlicher Begleiter des thierischen Lebensprocesses.

Als allgemeines Naturgesetz, von dem keine Ausnahme statt findet, gilt der Satz: dass zur Erzeugung von Wärme ein gewisser *Aufwand* erforderlich ist. Dieser Aufwand, so verschiedenartig er sonst sein mag, lässt sich immer auf zwei Hauptkategorien zurückführen; es besteht derselbe nemlich entweder in einem chemischen Material oder in einer mechanischen Arbeit.

Wenn Materien, die eine grosse chemische Verwandtschaft zu einander besitzen, in getrenntem Zustande einander treffen und sich verbinden, so geht eine solche Vereinigung unter Entwicklung einer bedeutenden Menge von Wärme vor sich. Die Grösse dieser Wärmeentwicklung pflegt man so zu bestimmen, dass man angibt, wie viel Kilogramme Wasser durch den chemischen Process um einen Grad der hunderttheiligen Scale erwärmt werden können; die Wärmemenge, durch welche ein 1 K^0 Wasser um 1^0 erhöht wird, nennt man Wärmeeinheit, *Calorie*.

Durch zahlreiche Versuche hat man z. B. gefunden, dass 1 K^0 trockene Holzkohle bei ihrer vollkommenen Verbindung mit Lebensluft 7200 Wärmeeinheiten liefert, wofür man auch kurz und ohne Berücksichtigung des Gewichtes der verbrennenden Materie sagt: die Holzkohle gibt 7200^0 Wärme.

Gute Steinkohlen geben 6000, vollkommen trocknes Holz 3300 bis 3900, der Schwefel 2700, das Wasserstoffgas aber 34600 Grad Wärme, u. s. f.

Wie die Erfahrung lehrt, so hängt die *Grösse* der Wirkung nur von der *Grösse* des Verbrauchs, nicht aber von den Umständen ab, unter denen der Verbrauch vor sich geht. Man erhält nemlich ganz dieselbe Wärmemenge, die Verbrennung mag langsam oder rasch, in atmosphärischer Luft oder in reinem Sauerstoffgase u. s. f. erfolgen. Ebenso ist es für die Menge der producirten Wärme ganz gleichgiltig, ob ein Körper, z. B. ein Metall, in der Luft verbrennt und die unmittelbar entstandene Wärme gemessen wird, oder ob die Oxydation in einer galvanischen Säule vor sich geht und die Wärmeentwicklung an andern Orten, als an dem der Verbrennung, z. B. am Leitungsdrahte erfolgt.

Das nemliche Grundgesetz gilt auch für die Erzeugung der Wärme auf mechanischem Wege. Es hängt die Menge der hervorgebrachten Wärme einzig von der Menge der verbrauchten mechanischen Arbeit und nicht von der Art und Weise der Verwendung dieser Arbeit ab. Wenn man also die Wärmemenge kennt, die durch irgend eine gegebene Arbeit geliefert wird, so lässt sich für jede andere Arbeit von bekannter Grösse die dazu gehörige Wärme leicht durch Rechnung finden, wobei es keinen Grössenunterschied bedingt, ob die Arbeit zum Zusammendrücken eines Gases, zu einem Stosse oder zur Reibung verwendet wird.

Jede mechanische Arbeit oder Leistung lässt sich der Grösse nach durch ein Gewicht bestimmen, das durch diese Arbeit auf eine gewisse Höhe gehoben wird. Man erhält den mathematischen Ausdruck für die Grösse der Arbeit, d. h. man erhält *das Mass* dieser Arbeit, wenn man die Anzahl der gehobenen Gewichtseinheiten mit der Anzahl der Höheneinheiten multiplicirt.

Nimmt man als Gewichtseinheit das Kilogramm, als Höheneinheit ein Meter senkrechte Höhe, so betrachtet man die Erhebung von einem Kilogramm-Gewichte auf ein Meter Höhe als *Einheit der mechanischen Leistung.* Dieses Arbeitsmass nennt man Kilogrammeter und bezeichnet dasselbe mit Km.

Ebenso gut lässt sich aber auch die Grösse einer Leistung durch ein Gewicht und durch *die Geschwindigkeit* bestimmen, die dem ursprünglich als ruhend angenommenen Gewichte ertheilt wird. Es wird dann die Arbeit gemessen durch das Product aus der Anzahl der Gewichtseinheiten in die *Quadratzahl* der Geschwindigkeitseinheiten. Da indessen die erste Bestimmungsweise manche Bequemlichkeiten vor der zweiten voraus hat, so pflegt man durchgängig sich der ersteren zu bedienen, wobei übrigens in jedem Falle die Reduction nach bekannten einfachen Gesetzen leicht vorgenommen werden kann.

Das Product aus der Zahl der Gewichtseinheiten in die der Höheneinheiten, oder wie man kürzer zu sagen pflegt, das Product aus der Masse in die Höhe, (ausgedrückt durch eine Anzahl oder durch einen Bruchtheil von Kilogrammetern) ebenso wie das Product

aus der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit, wird „lebendige Kraft der Bewegung", „mechanischer Effect", „dynamischer Effect" „mechanische Arbeit", „Leistung", „*quantité de travail*" u. s. w. genannt.

Die zur Erwärmung von 1 K^0 Wasser um 1^0 C. erforderliche Arbeit wird auf experimentalem Wege ermittelt; sie ist = 367 Km.; mithin ist 1 Km. = 0,00273 Wärmeeinheiten.[1] Durch Herabfallen von einer Höhe = 367^m erhält eine Masse die Endgeschwindigkeit = $84^m,8$ in 1 Sek.; mithin entwickelt eine Masse, die sich mit dieser Geschwindigkeit bewegt, wenn sie ihre Bewegung durch Stoss, Reibung und dgl. verliert, 1^0 Wärme. Wird die Geschwindigkeit verdoppelt, oder verdreifacht, so erhält man 4^0 oder 9^0 Wärme u. s. f. Allgemein also, wenn die Geschwindigkeit c Meter beträgt, so ist die dazu gehörige Wärmeentwicklung

$$= 0^0,000139 \times c^2.$$

III.

Von dem Masse der Sonnenwärme.

Das Aktinometer ist ein von dem jüngeren *Herschel* erfundenes Werkzeug, um die Wirkung der Sonnenstrahlen der Grösse nach zu bestimmen. Dieses Instrument ist im wesentlichen ein Thermometer mit grossem cylindrischem Gefässe, in welchem eine intensiv-blaue

[1] Wie man zu diesem wichtigen Resultate gelangt, habe ich an einem anderen Orte (die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel, Heilbronn 1845) dargelegt.

Flüssigkeit sich befindet, die zum Auffangen der Sonnenstrahlen dient und durch ihre Ausdehnung die hervorgebrachte Erwärmung an einer graduirten Scale angibt.

Nach den mit diesem Instrumente angestellten Versuchen berechnet *Herschel* die erwärmende Kraft der Sonne so gross, dass durch diese Wärme auf der Erdoberfläche jährlich eine 29,2 Meter dicke Eisschichte geschmolzen werden könnte.

Durch sehr sorgfältige Experimente, welche in neuerer Zeit *Pouillet* mit einem von ihm selbst zu diesem Zwecke erfundenen Instrumente, dem Linsen-Pyrheliometer, angestellt hat, findet dieser grosse Physiker, dass durchschnittlich jedes Quadrat-Centimeter Erdoberfläche in einer Minute so viel Wärme von der Sonne empfängt, dass durch dieselbe 1 Grm. Wasser um $0^0,4408$ erwärmt werden kann. Von dieser Wärmemenge gelangt jedoch nicht viel über die Hälfte auf die feste Erdoberfläche, da stets ein beträchtlicher Theil davon durch die Atmosphäre absorbirt wird.

Die Eisschichte, welche nach dieser Berechnung *Pouillet's* durch die Sonne in einem Jahre auf der Erde geschmolzen werden könnte, hat eine Dicke von 30,89 Meter.

Nach *Pouillet's* Angabe, an welche wir uns hinfort halten wollen, erhält also ein Quadrat-Meter Erdoberfläche im Durchschnitte per Minute 4,408 Wärmeeinheiten. Da aber die ganze Erdoberfläche 9260500 Quadratmeilen — die geogr. Meile zu 7420^m gerechnet — enthält, so bekommt die Erde in jeder Minute 2247 Billionen Wärmeeinheiten von der Sonne.

Nennen wir, um kleinere Zahlen zu bekommen, die Wärmemenge, durch welche eine Kubikmeile Wasser um 1^0 erhöht wird, kurzweg eine Wärme-Kubikmeile, so wird, da eine Kubikmeile Wasser 408,54 Billionen Kilogramme wiegt, eine Wärme-Kubikmeile also = 408,54 Billionen Wärmeeinheiten zu setzen ist, der von den Sonnenstrahlen auf die Erde in einer Minute ausgeübte Effect durch 5,5 Wärme-Kubikmeilen ausgedrückt.

Denkt man sich um die Sonne eine Hohlkugel gespannt, deren Halbmesser gleich ist der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, oder = 20589000 geographische Meilen, so ist die Oberfläche dieser Kugel = 5326 Billionen Quadratmeilen. Zu diesem Raume verhält sich die Durchschnittsfläche der Erdkugel, oder die Spitze des auf die Erde fallenden Lichtkegels, wie $\frac{9260500}{4}$: 5326 Billionen, oder wie 1 : 2300 Millionen. Dieses Verhältniss drückt den Bruchtheil aus, den die Erde von der Wärme erhält, die von der Sonne im Ganzen ausgesendet wird. Hiernach beläuft sich der ganze strahlende Effect der Sonne per Minute auf 12650 Millionen Wärme-Kubikmeilen.

Bei dieser erstaunlichen Ausstrahlung müsste ein Körper, auch von der Grösse unserer Sonnenkugel, in Bälde sich abkühlen, wenn nicht ein angemessener Wiederersatz statt fände.

Wird nemlich die Wärme-Capacität der Sonnenmasse, dem Volumen nach gerechnet, gleich der des Wassers, das unter allen bekannten Materien die grösste Wärme-Capacität besitzt, angenommen, und denkt

man sich zugleich den Wärmeverlust, den die Sonne durch Strahlung erleidet, auf ihre ganze Masse gleichförmig vertheilt, so ergibt sich für dieselbe eine jährliche Abkühlung = $1^0,8$, wonach die Sonne in der geschichtlichen Zeit von 5000 Jahren eine Temperaturabnahme von 9000^0 erlitten haben müsste.

Uebrigens ist an eine gleichförmige Durchkühlung der ganzen ungeheuren Masse natürlich nicht zu denken; vielmehr müsste die Sonne, wenn ihre Ausstrahlung nur auf Kosten eines einmal gegebenen Vorrathes von Wärme oder von strahlender Kraft erfolgen sollte, offenbar in kurzer Frist sich mit einer erkalteten Kruste überziehen, womit die Strahlung ein Ende hätte. Die durch eine ungezählte Reihe von Jahrtausenden fortdauernde Thätigkeit der Sonne lässt also mit mathematischer Gewissheit auf einen dem grossartigen Verbrauche entsprechenden Wiederersatz schliessen.

Liegt dieser Wiederersatz in einem chemischen Processe?

Nehmen wir, um dieser Vermuthung so viel nur möglich einzuräumen, die ganze Sonnenmasse für einen Klumpen Steinkohlen, wovon jedes Kilogramm 6000 Wärmeeinheiten durch Verbrennung liefert, so wäre die Sonne nicht weiter als 46 Jahrhunderte lang im Stande durch ihren Brand den genannten Wärmeaufwand zu bestreiten, — des zur Verbrennung nöthigen Sauerstoffes und noch manches entgegenstehenden Umstandes nicht zu gedenken.

Es wurde die Vermuthung ausgesprochen, die Axendrehung der Sonne könnte das ursächliche Moment

von ihrem Strahlen sein. Bei näherer Prüfung zeigt sich aber auch diese Hypothese ganz unhaltbar.

Einen raschen Umschwung für sich allein, ohne Reibung, ohne Widerstand, kann man sich nicht als die Ursache einer Licht- und Wärmeentwicklung denken, zumal da die Sonne sich keineswegs durch ihre Umdrehungsgeschwindigkeit vor den übrigen Körpern des Planetensystems auszeichnet. Die Sonne bedarf nemlich zu einer Umdrehung eine Zeit von etwa 25 Tagen; da nun der Sonnendurchmesser nahe 112mal grösser ist, als der Erddurchmesser, so folgt daraus, dass ein Punkt des Sonnenäquators nur etwas über viermal schneller rotirt, als ein Punkt des Erdäquators. Der grösste Planet des Sonnensystemes, dessen Durchmesser circa $^1/_{10}$ von dem der Sonne beträgt, dreht sich in weniger als 10 Stunden um seine Axe; ein Punkt seines Aequators rotirt also ungefähr sechsmal schneller, als ein Punkt des Sonnenäquators. Der äussere Ring des Saturns übertrifft den Sonnenäquator in seiner Rotations-Geschwindigkeit um mehr als das zehnfache. Nichts destoweniger wird aber weder an der Erde, noch am Jupiter, noch am Saturnusringe eine Licht- und Wärmeerzeugung wahrgenommen.

Inzwischen könnte man sich denken, dass auf der Sonne in Folge der Rotation eine Reibung statt fände, die auf anderen Himmelskörpern fehlt, wodurch dann allerdings eine grossartige Wärmeerzeugung hervorgebracht werden könnte. Zu einer Reibung sind aber allemal mindestens zwei Körper erforderlich, die in unmittelbarer Berührung mit einander stehen und mit verschie-

denen Geschwindigkeiten oder in verschiedenen Richtungen sich bewegen. Dabei liegt in der Reibung das Bestreben zur Herstellung einer gleichartigen Bewegung, und wenn diese eingetreten ist, hört die Action auf. Wenn nun die Sonne der *eine* bewegte Körper ist, welches ist dann der andere, und welche Gewalt hält diesen fest, damit er sich nicht in die Axendrehung der Sonne ergibt?

Wollte man sich aber auch über diese Schwierigkeiten hinwegsetzen, so stände einer solchen Hypothese noch ein weiteres und grösseres Hinderniss entgegen. Aus der bekannten Masse und dem Volumen der Sonne lässt sich die Grösse der lebendigen Kraft, welche die Sonne vermöge ihrer Umdrehung besitzt, berechnen; sie ist bei einer 25tägigen Rotationszeit (und unter der Voraussetzung einer gleichförmigen Dichtigkeit, also höchstens) = 182300 Quinquillionen Kilogrammeter. Da nun für eine Wärmeeinheit 367 Kilogrammeter verbraucht werden müssen, so geht aus dem bisherigen hervor, dass der ganze Rotations-Effect der Sonne, wenn durch ihn der Wärmeverbrauch gedeckt werden sollte, in hundert drei und achtzig Jahren verzehrt sein müsste.

IV.

Die Entstehung der Sonnenwärme in der Organisation des Planetensystemes begründet.

Der Raum unseres Sonnensystemes ist mit einer grossen Zahl ponderabler Objecte bevölkert, die dem *Newton*'schen Gravitationsgesetze gemäss sich dem

Schwerpunkte der Sonne zu nähern streben und bei ihrer Annäherung an denselben mehr und mehr in Bewegung gerathen.

Eine im Anziehungsbereiche der Sonne befindliche, anfänglich ruhende Masse wird der Anziehung folgend in Bewegung kommen und wenn nicht noch anderweitige Einflüsse statt finden, in geradem Laufe auf die Sonne hinabstürzen. In der Wirklichkeit kann aber eine solche geradlinige Bahn kaum je vorkommen, wie man sich leicht durch ein Experiment versinnlichen mag.

Wird nemlich ein Gewicht an einem Faden so aufgehangen, dass es nur in einem einzigen Punkte den Boden berühren kann, und wird dieses Gewicht auf einer gewissen Höhe bei angespanntem Faden seiner Schwere überlassen, so sieht man beinahe ohne Ausnahme, dass dasselbe in seinem schiefen Falle jenen Punkt, dem es vermöge der Anziehung der Erde zustrebt, nicht wirklich erreicht, sondern vielmehr längere Zeit um denselben in einer krummen Bahn herumläuft.

Der Grund dieser Erscheinung liegt einfach darin, dass die geringste Ablenkung von dem kürzesten Wege, z. B. der Widerstand der Luft gegen eine nicht vollkommen gleichförmige Oberfläche u. s. w., jenes Zusammentreffen hindern kann, und dass eine einmal vorhandene Ablenkung, solange das Gewicht in Bewegung bleibt, sich fort und fort erhält.

Inzwischen ist ein Zusammentreffen immerhin möglich; die Wahrscheinlichkeit dazu wird aber um

so geringer sein, je grösser die (lothrechte) Fallhöhe, je länger der Faden und je kleiner die Berührungsfläche ist.

Aehnliche Gesetze gelten bei den Bewegungen der Körper im Raume des Sonnensystemės. Die Fallhöhe ist hier die ursprüngliche Entfernung von der Sonne, in welcher ein Körper seine Bewegung beginnt, die Länge des Fadens stellt die in die Entfernung abnehmende Anziehung der Sonne dar, und die Berührungsfläche ist die Durchschnittsfläche der Sonnenkugel. Wenn nun eine kosmische Masse an der physischen Grenze der Anziehungssphäre unserer Sonne ihren Fall gegen diesen Himmelskörper beginnt, so ist sie auf ihrer unermesslichen Bahnstrecke bei der anfänglich äusserst schwachen Anziehung der Sonne viele Jahrhunderte lang zuerst dem störenden Einflusse der nächsten Fixsterne und später dem der planetarischen Körper des Sonnensystemes ausgesetzt, und es liegt somit eine geradlinige Bahn dieser Masse, oder ein senkrechtes Herabstürzen auf die Sonne, ausser dem Bereiche der Möglichkeit. Hiermit stimmt denn auch die Beobachtung von den krummlinigen geschlossenen Bahnen aller bekannten planetarischen Massen überein.

Kehren wir zu dem Beispiele des an einem Faden schwingenden Gewichtes zurück, so bemerken wir, dass dasselbe fortwährend Bahnen um den Anziehungspunkt beschreibt, deren Durchmesser sich nahezu gleich bleiben. Bei anhaltender Beobachtung finden wir aber, dass dieser Durchmesser allmählig abnimmt, dass somit das Gewicht der Berührungsstelle sich beständig

nähert und zuletzt unfehlbar mit derselben zusammenfällt, welch' letzteres nothwendig dann eintreten muss, wenn der Bahndurchmesser den Durchmesser der Berührungsfläche an Grösse nicht mehr übertrifft. Diese endliche Berührung ist also keineswegs ein zufälliges oder gar unwahrscheinliches, sondern sie ist vielmehr ein nothwendiges Ereigniss, herbeigeführt durch die Hindernisse, die die schwingende Masse fortwährend auf ihrer Bahn durch Reibung und Luftwiderstand erfährt. Gelänge es aber alle Hindernisse vollkommen zu beseitigen, dann würde sich allerdings die Masse in immer gleichen Schwingungen behaupten.

Das gleiche Gesetz gilt wiederum auch für die Himmelskörper. Die Bewegung derselben in einer absoluten Leere bedingt einen gleichförmigen Gang, wie den eines mathematischen Pendels; ein im Raume verbreitetes, Widerstand leistendes Medium dagegen nöthigt die planetarischen Körper, in immer kürzeren Bahnen um die Sonne zu laufen und endlich bleibend mit ihr sich zu vereinigen.

Einen solchen Widerstand angenommen, so haben diese wandernden Himmelskörper in der Peripherie des Sonnensystemes ihre Wiege, im Centrum ihr Grab, und wie lange auch die Dauer und wie gross auch die Zahl ihrer Umläufe sein mag, so werden durchschnittlich in einem gewissen Zeitraume ebenso viele Massen auf der Sonne anlangen, als früher einmal in einem gleichen Zeitraume in ihren Anziehungsbereich eingetreten sind.

Alle diese Massen stürzen mit einem heftigen Stosse

in ihr gemeinsames Grab. Da nun keine Ursache ohne Wirkung besteht, so muss auch jede dieser kosmischen Massen, ebenso wie ein zur Erde fallendes Gewicht, durch ihren Stoss eine, ihrer lebendigen Kraft proportionale Wirkung, eine gewisse Menge von Wärme, hervorbringen.

An die Vorstellung also von einer den weiten Himmelsraum durch Anziehung beherrschenden Sonne, von allenthalben im Universum verbreiteten, wägbaren Materien und von einer die Welt erfüllenden, widerstandleistenden ätherischen Substanz, an diese Vorstellungen knüpft sich mit innerer Nothwendigkeit eine andere, nemlich die von einer fortlaufenden, unerschöpflichen Erzeugung von Wärme auf dem Centralkörper dieses kosmischen Systemes.

Ob nun eine solche Vorstellung in unserem Sonnensysteme realisirt, ob mit anderen Worten die immerwährende, wundervolle Licht- und Wärmeentwicklung eine Wirkung kosmischer Materien ist, die sich ohne Unterbrechung in die Sonne stürzen, diese Frage soll jetzt einer näheren Prüfung unterworfen werden.

Was zuerst die Existenz von Urmaterien betrifft, die im Weltenraume schweben und der Massenanziehung des nächstgelegenen Sternsystemes, anfänglich mit äusserster Langsamkeit, folgen sollen, so werden die Astronomen und Physiker wohl kaum eine solche in Abrede zu ziehen geneigt sein; denn der Reichthum der uns umgebenden Natur, sowie der Anblick des gestirnten Himmels, der durch seine erstaunliche Fülle den Beobachter zur Bewunderung hinreisst, lässt uns

nicht glauben, dass der unermessliche Raum, der unser Sonnensystem von dem Gebiete anderer Fixsterne abscheidet, von jeder Materie entblösst nur aus einer völlig leeren Einöde bestehen sollte.

Lassen wir jedoch alle Vermuthungen über Gegenstände, die uns dem Raume und der Zeit nach so ferne stehen, und halten wir uns ausschliesslich an das, was die Beobachtung gegenwärtiger Dinge lehrt.

Im Raume des Sonnensystemes bewegen sich ausser den jetzt bekannten 14 Planeten und deren 18 Trabanten noch eine sehr grosse Zahl anderer Himmelsmassen, von welchen die Kometen zunächst Erwähnung verdienen.

Kepler's berühmter Ausspruch „es gibt mehr Kometen im Himmelsraume, als Fische im Ocean“ gründet sich auf die Thatsache, dass nur ein sehr geringer Theil von der Gesammtzahl der Kometen unseres Sonnensystemes in ihrem Laufe den Erdbewohnern zu Gesichte kommen kann, und dass mithin nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung aus der nicht unbeträchtlichen Zahl wirklich beobachteter Kometen noch auf eine weit grössere Masse solcher geschlossen werden muss, die sich ausser unserem Gesichtskreise bewegen.

Neben den Planeten, Monden und Kometen gibt es aber in unserem Sonnensysteme noch eine weitere Kategorie von Himmelskörpern. Es sind dieses geballte Massen, die ihrer verhältnissmässig ausserordentlich geringen Grösse wegen als kosmische Atome angesehen werden können, und denen *Arago* den passenden Namen „Asteroiden“ gegeben hat. Wie die Planeten und

Kometen, so folgen auch sie den Gesetzen der Schwere und umkreisen in elliptischen Bahnen die Sonne. Sie sind es, die, wenn sie durch Zufall in die unmittelbare Nähe der Erde kommen, das sich unaufhörlich wiederholende Schauspiel der Sternschnuppen und Feuerkugeln darstellen.

Anhaltende Beobachtungen haben gelehrt, dass in einer hellen Nacht selten zwanzig Minuten vergehen, worin nicht von einem beliebigen Standorte aus eine Sternschnuppe wahrgenommen werden kann. Zu gewissen Zeiten aber werden diese Meteore in erstaunlich grosser Menge beobachtet, und man hat z. B. die Zahl derselben während eines neunstündigen Sternschnuppenfalles in Boston, wo sie „wie Schneeflocken zusammengedrängt“ fielen, auf wenigstens 240000 berechnet. Alles zusammengenommen lässt sich die Zahl der binnen Jahresfrist in die Nähe der Erde kommenden Asteroiden auf Hunderte und Tausende von Millionen schätzen. Ohne allen Zweifel ist dieses aber wiederum nur ein verschwindend kleiner Theil von der Gesammtzahl der Asteroiden, die um die Sonne treiben, und wenn man auf diese letztere nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung einen Schluss zieht, so verliert man sich in's Grenzenlose.

Wie schon erwähnt wurde, hängt es von der Existenz eines Widerstand-leistenden Aethers ab, ob diese Himmelskörper, Planeten, Kometen, Asteroiden, in gleichbleibenden mittleren Entfernungen die Sonne umkreisen, oder ob sie alle in einer beständigen Annäherung gegen den Centralkörper begriffen sind.

Ueber die factische Existenz eines solchen Aethers waltet aber unter den Naturforschern kein Zweifel ob. Hören wir, wie sich unter Andern *Littrow* hierüber äussert: „die Annahme dass die Planeten und Kometen „sich im absolut leeren Raum des Himmels bewegen, „kann auf keine Weise gestattet werden. Wenn es „in dem Weltenraume auch keine andere flüssige Ma„terie gäbe, als die, welche zur Existenz des Lichtes „nothwendig ist (dieses Licht mag nun nach der Emis„sionstheorie selbst materiell sein, oder nach der Un„dulationslehre in den Schwingungen eines überall ver„breiteten Aethers bestehen), so ist dieses allein schon „hinlänglich, die Bewegungen der Planeten in einem „solchen Medium in der Folge der Zeiten und damit „die Anordnung des Systemes selbst gänzlich zu ändern, „ja die gegenwärtige Einrichtung desselben ganz auf„zuheben, da die endliche Folge eines solchen wider„stehenden Mittels das Herabstürzen aller Planeten und „Kometen auf die Sonne sein muss."

Einen directen Beweis von dem Vorhandensein eines solchen Widerstandes hat der Akademiker *Encke* geliefert, indem er nachgewiesen hat, dass der von ihm berechnete und nach ihm benannte Komet, welcher in der kurzen Zeit von 1207 Tagen um die Sonne läuft, eine regelmässige Beschleunigung seiner Bewegung zeigt, vermöge derer sich seine Umlaufszeit jedesmal um ungefähr sechs Stunden verkürzt.

Es ist der Natur der Sache angemessen, dass die Planeten, ihrer ausnehmenden Grösse und Dichtigkeit wegen, eine nur sehr langsame und bis jetzt

unmerkliche Verminderung ihrer Bahndurchmesser erfahren. Dagegen müssen sich die kleinen kosmischen Massen unter sonst gleichen Umständen in dem Masse der Sonne rascher nähern, je kleiner ihr körperlicher Durchmesser ist, und es kann mithin geschehen, dass in einem Zeitraume, in welchem der mittlere Abstand der Erde von der Sonne um ein Meter abnimmt, ein kleines Asteroid einen Weg von mehr als tausend Meilen gegen die Sonne zurücklegt.

Da sich von allen Seiten langsam aber unaufhaltbar ein unermesslicher Strom wägbarer Substanzen der Sonne zuwälzt, so müssen sich diese Massen bei ihrer Annäherung an den gemeinschaftlichen Mittelpunkt immer dichter und dichter zusammendrängen. Die Vermuthung liegt desshalb nahe, dass jenes schwache neblige Licht, das in ungeheuren Dimensionen die Sonne umgibt, das Zodiakallicht nemlich, sein Dasein solchen zusammengedrängten Asteroiden verdanken könne. Wie dem aber auch sei, so ist mindestens ausgemacht, dass diese Lichterscheinung von materiellen Substanzen herrührt, die nach den gleichen Gesetzen, wie die Planeten u. s. w. um die Sonne sich bewegen, und es muss daher auch die ganze Zodiakallicht-Masse in fortwährender Annäherung gegen die Sonne, beziehungsweise in einem Zusammenstürzen mit derselben begriffen sein.

Dieses Licht umgibt die Sonne nicht von allen Seiten gleichförmig, d. h. seine Gestalt ist nicht die einer Kugel, sondern die einer sehr plattgedrückten Linse, deren grössere Durchmesser in die Ebene des

Sonnenäquators fallen, wodurch dasselbe von der Erde aus gesehen in Form einer aufsteigenden Pyramide sich darstellt. Eine solche linsen- oder scheibenartige Vertheilung der Massen im Himmelsraume findet sich bei der Disposition der Planeten und der Fixsterne auf eine merkwürdige Weise wiederholt.

Aus der grossen Anzahl kometarischer Massen und der Asteroiden, sowie aus dem Vorhandensein der Zodiakallicht-Materie einerseits und der Existenz eines widerstandleistenden Aethers andererseits ergibt sich mit Nothwendigkeit, dass fort und fort wägbare Substanzen auf der Sonnenoberfläche anlangen müssen. Der Effect aber, den diese Massen dort ausüben, hängt offenbar von ihrer Endgeschwindigkeit ab, und um diese zu finden, wollen wir einige Elementar-Sätze der Gravitations-Lehre kurz erörtern.

Ein Gewicht, das auf einen Weltkörper, von dem es angezogen wird, herabfällt, kommt mit um so grösserer Endgeschwindigkeit auf der Oberfläche des anziehenden Gestirnes an, je grösser die Höhe ist, von der aus das Gewicht seinen Fall begonnen hat. Diese Endgeschwindigkeit kann aber, wenn das Gewicht seine Bewegung nur durch Fallen erhält, eine gewisse Grösse nicht übersteigen; sie hat ein Maximum, dessen Werth von der Natur des anziehenden Himmelskörpers, nemlich von dem Volumen und der Masse desselben, abhängt.

Es sei der Halbmesser des als kugelförmig und

compact gedachten Weltkörpers, nach Metern gezählt, = r, die Endgeschwindigkeit, die ein an der Oberfläche dieses Weltkörpers frei fallendes Gewicht in der ersten Sekunde erhält, sei, ebenfalls nach Metern gezählt, = g, so ist die grösste Geschwindigkeit, die das Gewicht durch seinen Fall gegen diesen Weltkörper erlangen kann, oder die Geschwindigkeit mit der es nach einem Falle aus unendlicher Höhe auf der Oberfläche ankommt = $\sqrt{2gr}$ (Meter in einer Sekunde). Diese Zahl wollen wir der Kürze wegen G nennen.

Für die Erde ist g = 9,8164 .. und r = 6 369 800. Folglich ist für dieselbe

$$G = \sqrt{(2 \times 9{,}8164 \times 6\,369\,800)} = 11183.$$

Der Sonnenhalbmesser ist 112,05 mal grösser, als der Halbmesser der Erde, die Fallgeschwindigkeit aber ist auf der Sonnenoberfläche 28,36 mal so gross als auf der Oberfläche der Erde. Folglich ist für die Sonne das Maximum der Fallgeschwindigkeit, oder

$$G = \sqrt{(28{,}36 \times 112{,}05)} \times 11183 = 630\,400,$$

d. h. es beträgt diese Geschwindigkeit 630 400 Meter = 85 geogr. Meilen in einer Sekunde.

Mit Hilfe dieser constanten Zahl G, welche man die Charakteristik des Sonnensystems nennen kann, lässt sich die Geschwindigkeit, die ein in einer Centralbewegung begriffener Körper in irgend einem Punkte seiner Bahn besitzt, leicht auffinden. Es sei die *mittlere* Entfernung des planetarischen Körpers, oder die halbe grosse Axe seiner Bahn, vom Schwerpunkte der Sonne aus gerechnet, und nach Sonnenhalbmessern gezählt, = a, die *jeweilige* Entfernung vom Sonnenschwer-

punkte, ebenfalls nach Sonnenhalbmessern gezählt, = h, so ist die Geschwindigkeit, die der planetarische Körper in der Entfernung h besitzt, in Metern ausgedrückt

$$= G \times \sqrt{\frac{2a - h}{2a \times h}}.$$

In dem Augenblicke, wo der planetarische Körper die Sonnenoberfläche trifft, ist h = 1, mithin ist hier seine Geschwindigkeit

$$= G \times \sqrt{\frac{2a - 1}{2a}}.$$

Aus dieser Formel geht hervor, dass die Geschwindigkeit, mit der ein planetarischer Körper auf der Sonne ankommt, um so kleiner wird, je kleiner die grosse Axe seiner Bahn, 2a, ist. Diese Geschwindigkeit hat aber eben sowohl wie die grosse Axe ein Minimum, denn so lange der planetarische Körper ausserhalb der Sonne sich bewegt, kann seine grosse Axe nie kleiner als der Sonnendurchmesser, oder es kann die nach Sonnenhalbmessern gezählte Grösse 2a nie kleiner als 2 sein. Die denkbar kleinste Geschwindigkeit eines auf die Sonne stürzenden kosmischen Körpers ist demnach

$$= G \times \sqrt{\frac{1}{2}} = 445\,750,$$

oder diese Geschwindigkeit beträgt 60 geogr. Meilen in 1 Sek.

Für diesen kleinsten Werth ist die Bahn des Asteroids kreisförmig; sie wird für grössere Werthe elliptisch, bis sie endlich unter zunehmender Excentricität

für einen unendlich grossen Werth von 2a zur Parabel wird. In diesem Falle ist die Geschwindigkeit

$$= G \times \sqrt{\frac{\infty - 1}{\infty}} = G,$$

oder sie ist = 85 Meilen in 1 Sek.

Die Geschwindigkeit kann noch weiter bis ins Endlose wachsen, wenn die grosse Axe einen negativen Werth erhält, oder die Bahn hyperbolisch wird. Da aber solche Fälle nur dann eintreten können, wenn kosmische Massen mit einer gewissen Wurfgeschwindigkeit in den Raum des Sonnensystemes eindringen, solche Massen ferner, wenn sie die Sonnenoberfläche einmal verfehlt haben, ohne je wiederzukehren in das All hinaussteuern, so muss eine den Werth von G übersteigende Geschwindigkeit mindestens als höchst seltene Ausnahme betrachtet werden, wesshalb wir um sicher zu gehen nur die in einen Rahmen von 60 bis 85 Meilen eingeschlossenen Geschwindigkeiten in Betracht ziehen wollen.[1]

Die Endgeschwindigkeit, mit der ein lothrecht herabfallendes Gewicht auf der Sonne ankommt, wird durch die Formel erhalten

$$c = G \sqrt{\frac{h - 1}{h}},$$

[1] Die relative Geschwindigkeit, mit der ein Asteroid die Sonnenoberfläche trifft, hängt zum Theil auch einigermassen von der Umdrehungsgeschwindigkeit der Sonne ab. Dieses in jeder Hinsicht untergeordnete Moment kann jedoch hier ebensowohl, als ein etwaiger Rotations-Effect der stürzenden Asteroiden, ausser Acht gelassen werden.

wo c die gesuchte Endgeschwindigkeit nach Metern gezählt, und h die anfängliche Entfernung (Fallhöhe) vom Sonnenmittelpunkte aus gerechnet und nach Sonnenhalbmessern gezählt, ausdrückt. Vergleicht man diese Formel mit den vorhergehenden, so sieht man, dass eine in einer Central-Bewegung begriffene, auf der Sonne anlangende Masse die nemliche Geschwindigkeit hat, als ob diese Masse aus einer der grossen Axe ihrer Bahn gleichen Entfernung (vom Sonnenmittelpunkte aus gerechnet) lothrecht herabgestürzt wäre, woraus man zugleich ersieht, dass ein auf der Sonne ankommender planetarischer Körper mindestens so schnell sich bewegt, als ein Gewicht, das einen Sonnenhalbmesser oder 96000 geogr. Meilen hoch auf die Sonne frei herabgefallen ist.

Welches ist nun der solchen Geschwindigkeiten entsprechende Wärme-Effect? Ist derselbe gross genug, um bei der gewaltigen Wärmeentwicklung auf jenem Gestirne in Betracht kommen zu können?

Diese entscheidende Frage lässt sich aus dem Vorangehenden leicht beantworten. Nach der am Schlusse des 2ten Capitels gegebenen Formel ist der Wärme-erregende Effekt beim Stosse

$$= 0^0{,}000139 \times c^2,$$

wo c die Geschwindigkeit des stossenden Körpers nach Metern gerechnet ausdrückt. Da nun die Geschwindigkeit eines Asteroids beim Zusammenstossen mit der Sonne 445 750 bis 630 400 Meter beträgt, so ist der Effect = $27^1/_2$- bis 55 Millionen Grad Wärme. Eine Asteroid-Masse gibt also bei ihrem Sturze auf die Sonne

4600 bis 9200 mal so viel Wärme, als eine gleich grosse Menge Steinkohlen (à 6000 Calorien) durch Verbrennen liefert!

V.

Die Entstehung der Sonnenwärme.

Fortsetzung.

Eines der grossartigsten Räthsel, die Frage nach der Ursache der krummlinigen Bahnen der Planeten, hat *Newton* gelöst und zwar, wie gesagt wird, durch Nachdenken über den Fall eines Apfels. Diese Erzählung hat nichts Unwahrscheinliches; denn wenn man sich darüber klar geworden ist, dass zwischen Klein und Gross nur ein quantitativer, kein qualitativer, Unterschied besteht, wenn man, nicht Gehör gebend den Einflüsterungen einer immer regen Phantasie, in den kleinsten wie in den grössten Naturprocessen dieselben Gesetze aufsucht, dann ist man auf dem rechten Wege zur Erkenntniss der Wahrheit.

Gerade diese *allgemeine* Gültigkeit liegt im Wesen der Naturgesetze und ist ein Probierstein für die Richtigkeit menschlicher Theorien. Wir beobachten den Fall eines Apfels, erforschen das dieser Erscheinung zu Grunde liegende Gesetz; an die Stelle der Erde setzen wir die Sonne, an die des Apfels einen Planeten und — wir haben den Schlüssel zur Mechanik des Himmels in den Händen.

Da nun Kleines mit Grossem zusammengestellt

werden darf, so sei es gestattet, die von *Newton* befolgte Methode auch zur Lösung des Problemes von der Erzeugung der Sonnenwärme anzuwenden. Wir kennen einerseits den auf der Oberfläche der Erde herrschenden gesetzmässigen Zusammenhang zwischen Fallhöhe, Geschwindigkeit, lebendiger Kraft und Wärmeerzeugung, setzen wiederum an die Stelle der Erde die 350 000 mal massenreichere Sonne, an die Stelle einer Fallhöhe von einigen Metern kosmische Höhen und finden eine alles irdische Mass übersteigende Wärmeentwicklung. Da wir nun andererseits Gründe genug haben, einen solchen kosmisch-mechanischen Process als thatsächlich anzunehmen, so haben wir eine, und zwar die bis jetzt einzig haltbare, Erklärung von der Entwicklung der Sonnenwärme gefunden.

Dass die bei terrestrisch-mechanischen Processen erzeugte Wärme der Menge nach in der Regel weit hinter der auf chemischem Wege, durch Verbrennung gewonnenen, zurückbleibt und zurückbleiben muss, ergibt sich aus den erörterten Gesetzen von selbst und kann auf keine Weise gegen die Annahme grösserer Wärmeentwicklung bei grösseren mechanischen Processen geltend gemacht werden.

Es wurde gezeigt, dass ein von einer Höhe = 367^{m} auf die Erde herabfallendes Gewicht nur den sechstausendsten Theil der Wärme entbindet, die ein gleich grosses Gewicht Steinkohlen durch Verbrennung gibt. Ebenso gering ist die von einem Gewichte entwickelte Wärmemenge, wenn das Gewicht die nicht unbeträchtliche Geschwindigkeit = 85^{m} in einer Sekunde besitzt.

Da aber nach den sicheren Gesetzen der Mechanik der Effekt dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional wächst, so muss das Gewicht, wenn es sich hundertmal schneller, oder mit einer Geschwindigkeit = 8500^{m}, bewegt, einen Effect hervorbringen, der bereits grösser ist, als der eines gleichen Gewichtes verbrennender Steinkohlen.

Freilich lässt sich eine so grosse Geschwindigkeit mit unseren Mitteln nicht hervorbringen; immerhin ist aber die Entwicklung hoher Temperaturgrade bei mechanischen Vorgängen eine Sache der stündlichen Erfahrung.

Beim Feuerschlagen erhitzen sich die durch einen leichten Stoss vom spröden Stahle losgerissenen Splitter stark genug, um in der Luft sofort zu verbrennen. — Wenige Schläge von einem gewandten Schmiede mit dem Hammer geführt vermögen ein kaltes Stück Metall an der getroffenen Stelle zum Glühen zu bringen.

Eine neugemachte Kurbel eines Dampfschiffes, welche sich durch Bewegung glatt reiben sollte, erhitzte sich dabei zum völligen Rothglühen und erforderte mehrere Kübel Wasser zur Abkühlung.

Wenn ein Eisenbahnzug eine starke Krümmung, obschon mit sehr ermässigter Geschwindigkeit befährt, so sprühen in Folge der Reibung Massen von Funken über die Schienen hin. U. s. f.

Einer von den grossartigsten Bewegungs-Apparaten, welche von menschlicher Kunst hergestellt worden, ist die von dem trefflichen Ingenieur *J. Rupp* vor dreissig Jahren am Pilatusberge erbaute berühmte Holzleitung,

auf welcher das unbenützte Holz jener Urwälder in die Ebene hinabgelassen wurde. Die zu diesem Zwecke errichtete kolossale hölzerne Rinne hatte eine Länge von drei Stunden und die grössten Stämme gelangten in derselben binnen $2^1/_2$ Minuten von der Höhe des Berges bis in die Ebene hinab. Die Gewalt, mit welcher das Holz unten anlangte, war so gross, dass Bäume, wenn sie aus der Rinne seitwärts herausgelassen wurden, mit ihrem dicken Ende 6 bis 8 Meter tief in den Erdboden drangen. Um eine allzugrosse Erhitzung, ein Verkohlen und Entzünden der herabschiessenden Stämme zu verhüten, musste von vielen Seiten Wasser in die Rinne geleitet werden.

Dieser gewaltige terrestrisch-mechanische Process ist aber, den auf der Sonne stattfindenden kosmischen Processen gegenüber, wahrhaft verschwindend klein zu nennen; denn dort ist es die Sonnenmasse, welche anzieht, und an die Stelle des Pilatus treten Fallhöhen von 100000 und mehr Meilen, wesshalb denn auch der Wärme-Effect dort zum mindesten 9 millionenmal grösser ist, als hier.

Gehen Wärmestrahlen durch Glas oder andere durchsichtige Körper hindurch, so erleiden sie dabei eine Schwächung, die aber je nach der Temperaturverschiedenheit der Quelle, aus der die Strahlen fliessen, verschieden gross ist. Befindet sich die Temperatur der Wärmequelle unter der des kochenden Wassers, so werden die davon ausgehenden Wärmestrahlen auch durch die dünnste Glasplatte fast bis auf die

letzte Spur zurückgehalten. Dagegen wächst die diathermane Energie der Strahlen fortwährend, wie die Temperatur der Quelle höher wird. So schwächt z. B. eine Glasscheibe die Wärmestrahlen eines dunkelrothglühenden Körpers, wenn man demselben auch noch so nahe rückt, viel stärker, als die eines weissglühenden bei viel grösserer Entfernung. Wenn man nun die Qualität der Sonnenstrahlen in dieser Rücksicht prüft, so findet man, dass diese durch ihre ausserordentliche diathermane Energie alle künstlichen Wärmestrahlen bei weitem übertreffen. Denn wenn man das Sonnenlicht in dem Brennpunkte eines concaven Metallspiegels sammelt, und dann vor diesen Spiegel einen Glasschirm setzt, so wird dadurch die Temperatur des Brennpunktes nur sehr wenig, etwa nur um $^1/_7$ oder $^1/_8$ vermindert; stellt man aber den nemlichen Versuch mit einem künstlichen Feuer an, so findet man, dass während eine directe Zurückwerfung vom Metallspiegel ohne Glasschirm eine starke Hitze bewirkt, nach Zwischensetzung des Schirmes eine sehr schwache, oft unmerkliche, Wärme entsteht, selbst wenn man sich dem Feuer so weit nähert, dass das Lichtbild im Brennpunkte lebhafter wird, als zuvor.

Dieses Erfahrungsgesetz, dass die raumdurchdringende Energie der Wärmestrahlen im allgemeinen zunimmt, wenn die Temperatur ihrer Quelle eine höhere wird, lehrt, dass auf der Sonnenoberfläche eine weit grössere Hitze herrschen muss, als der heftigste Verbrennungsprocess hervorzubringen vermag.

Zu dem nemlichen Resultate gelangt man auch

auf anderen Wegen. Stellt man sich eine um die Sonne gespannte Hohlkugel vor, so sieht man, dass die ganze Strahlenmenge, die diese Kugelfläche erhält, den Wärmestrahlen entsprechen muss, welche von der Sonnenoberfläche ausgesendet werden. Eine solche, in der Entfernung unserer Erde um die Sonne ausgespannte, Hohlkugel hat nun bei einem 215mal grösseren Radius eine 46000mal grössere Oberfläche als die Sonnenkugel, woraus folgt, dass eine in der Entfernung der Erde den Sonnenstrahlen rechtwinkelig ausgesetzte Fläche diese Strahlen in 46000facher Verdünnung erhält. Rechnet man hinzu, dass durch die Erdatmosphäre stets ein Theil der Sonnenstrahlen absorbirt wird, so findet man, dass sich die Strahlen unserer tropischen Mittagssonne mindestens in einer 50 bis 60000fachen Verdünnung befinden. Diese Strahlen in einer Ausdehnung von 5 bis 6 Quadrat-Metern gesammelt und auf ein Quadrat-Centimeter concentrirt, würden eine der Sonnenoberfläche annähernd gleichkommende Temperatur hervorbringen. Eine solche Hitze wäre aber mehr als hinreichend, um die strengflüssigsten Metalle zu vergasen.

Auch die im 3. Cap. ihrer Grösse nach berechnete Ausstrahlung der Sonnenobeifläche beweist die dort herrschende enorme Hitze. Aus den oben gegebenen Grössenbestimmungen findet man nemlich, dass jedes Quadrat-Centimeter Sonnenoberfläche in einer Minute circa 80 Wärmeeinheiten ausstrahlt, — eine, im Vergleiche mit terrestrischen Strahlungsprocessen ganz ungeheure Grösse.

Eine richtige Theorie von dem Ursprunge der Sonnenwärme muss über den Grund und das Zustandekommen einer solchen extremen Temperatur Auskunft geben. Die Erklärung davon geht aus dem Bisherigen von selbst hervor.

Nach *Pouillet* beträgt die Temperatur der heftigsten Weissglühhitze 1500° C. Die Verbrennungswärme von einem Kilogramme Wasserstoffgas beläuft sich nach den Versuchen von *Dulong* auf etwa 34500, nach den neuesten Versuchen von *Grassi* auf 34666 Wärmeeinheiten. Da sich nun ein Gewichtstheil Wasserstoff bei der Verbrennung mit acht Gewichtstheilen Sauerstoff verbindet, so gibt das Knallgas eine Verbrennungswärme von 3850°.

Vergleicht man diese künstlichen Feuer mit der von einem auf die Sonne stürzenden Asteroide hervorgebrachten Hitze, so findet man die letztere (auch abgesehen von der im Vergleiche zum Wasser wahrscheinlich ziemlich geringen Wärme-Capacität der Asteroid-Massen) 7 bis 14000mal grösser, als selbst die Hitze eines Knallgasgebläses, woraus sich denn die ausserordentliche diathermane Energie der Sonnenstrahlen, die unermesslich grosse Ausstrahlung der Sonnenoberfläche und die extreme Hitze im Focus der Brennspiegel leicht ergibt.

Aus den angeführten Thatsachen geht noch ferner hervor, dass jeder chemische Process — wenn man nicht für die Sonne Materien von unbekannten und unerhörten chemischen Qualitäten als einen *deus ex machina* supponiren wollte — unzureichend wäre, die

Strahlung der Sonne in ihrem gegenwärtigen Stande zu unterhalten; ja, es ergibt sich sogar daraus, dass die chemische Natur der herabstürzenden Massen bei diesem grossartigen Naturprocesse fast gar nicht mehr in Betracht kommt, sofern der Effect sich nicht um ein *pro mille* ändert, die herabfallenden Massen mögen nun aus höchst brennbaren oder aus chemisch todten Substanzen bestehen; denn wie das blendendste Licht einer künstlichen Flamme durch das in mehr als 100000 facher Verdünnung befindliche Sonnenlicht verdunkelt wird, so tritt die stärkste chemische Action vor jenem kosmisch-mechanischen Processe in den Hintergrund.

Die aus der Temperatur der Sonne resultirende Qualität ihrer Strahlen ist für uns Erdenbewohner von grosser Wichtigkeit. Wäre die Ursache der Sonnenwärme nichts weiter als ein chemischer Process, und beliefe sich die Temperatur an der Quelle nur auf einige tausend Grade, so könnte der Erdboden zwar wohl durch die Sonne erleuchtet werden, das Wichtigste aber, die Wärme, würde zum grossen Theile von den oberen Schichten der Atmosphäre absorbirt und in den Weltraum wieder zurückgesendet. Vermöge der hohen Temperatur der Wärmequelle aber ist die Atmosphäre der Erde für die Wärmestrahlen der Sonne ausgezeichnet diatherman, und somit setzen sich diese Strahlen grossentheils als freie Wärme an der soliden Oberfläche der Erde ab. Bei der relativ sehr niederen Temperatur dieser Oberfläche nun vermag die Bodenwärme nicht so leicht wieder rückwärts

die Atmosphäre strahlend zu durchdringen und in den Weltraum auszuströmen. Es bildet also die Atmosphäre eine Hülle, welche dem Eindringen der Sonnenstrahlen einen geringen, dem Ausstrahlen der Erdwärme aber einen grossen Widerstand entgegensetzt und, wie ein nach unten sich öffnendes, nach oben sich schliessendes Ventil, die Wärme auf der Erdoberfläche zusammenhält.

Für die meteorologischen Processe und die klimatischen Verhältnisse unseres Planeten ist dieser Umstand von hoher Bedeutung. Denn da der luftförmigen Bekleidung des festen Erdkörpers für die Sonnenstrahlen eine grosse, für die relativ sehr kalte Erdoberfläche aber eine geringe Diathermansie zukommt, so muss durch diese Umhüllung die *mittlere Temperatur* der Erdoberfläche sehr erhöht werden. Denkt man sich die Atmosphäre von der Erde weggenommen, so würde die Temperatur des Erdbodens nach Sonnenuntergang und im Schatten schnell zur intensivsten Kälte — zur Temperatur des Weltraumes — herabsinken, und selbst zwischen den Wendekreisen würde die Mittagssonne nicht mehr hinreichen das zu Felsen erstarrte Wasser zu erweichen.

Zwischen dieser Kälte, welche aller Orten und zu allen Jahres- und Tageszeiten nach Wegnahme der Atmosphäre herrschen würde, und der durch die wirkliche Existenz der Atmosphäre bedingten gemässigten Temperatur lassen sich nun Uebergänge denken, welche durch eine allmälige Verdünnung der Atmosphäre vermittelt werden, wobei man leicht sieht, dass die-

mittlere Temperatur der Erde in dem Masse abnehmen müsste, als ihre Atmosphäre verdünnt würde. Eine solche Verdünnung der luftförmigen, die Sonnenwärme klappenartig zurückhaltenden Umhüllung tritt aber mit der Elevation über den Meeresspiegel wirklich ein und ist desswegen auch mit einer entsprechenden Wärmeabnahme nothwendig verknüpft.

Diese allbekannte Thatsache der geringeren mittleren Wärme höher gelegener Orte hat zu den sonderbarsten Hypothesen Veranlassung gegeben. Es sollten die Sonnenstrahlen an und für sich nicht die vollständigen Bedingungen der Wärmeentwicklung enthalten, vielmehr sollte durch diese Strahlen nur der an die Erde gebundene Wärme„stoff" in Bewegung gesetzt oder erwärmt werden. Der von der Erde durch Anziehung festgehaltene, ruhende oder kalte Wärme„stoff" finde sich vornemlich in der Tiefe angesammelt, wesshalb denn die wärmeerregende Kraft der Sonnenstrahlen auf hohen Bergen so gar gering sei, und woraus sich nebenbei auch ganz gut erklären lasse, warum die Sonne ihrer beständigen Strahlung unerachtet nicht erkalte.

Dieser namentlich unter Laien vielverbreitete und schwerlich auszurottende Glaube wird durch die vortrefflichen pyrheliometrischen Versuche, welche *Pouillet* auf verschiedenen Höhen angestellt hat, direct widerlegt. Es ergibt sich nemlich aus diesen Versuchen, dass die Wärmeentwicklung durch die Sonnenstrahlen unter sonst gleichen Umständen in der Höhe in der That stärker ist, als in der Tiefe, und dass also ein

Theil der Sonnenstrahlen sammt ihrer wärmeerregenden Kraft beim Durchgange durch die Atmosphäre allerdings absorbirt wird. Warum aber die niedergelegenen Gegenden trotz der minderen Wärmezufuhr höher temperirt sind, als die hoch gelegenen, davon liegt der Grund darin, weil in der Tiefe das Ausstrahlen in noch höherem Grade vermindert ist, als das Einstrahlen.

VI.

Die Unveränderlichkeit der Sonnenmasse.

Bekanntlich hielt *Newton* das Licht für eine von der Sonne in das Weltall ausströmende materielle Substanz. Consequent dieser Ansicht, erblickte dieser grosse Naturforscher in dem Ausstrahlen von Licht einen Grund zur fortwährenden Verminderung der Sonnenmasse, nahm aber, um diesen Verlust zu decken, einen sich stets wiederholenden Sturz kometarischer Materien auf den Centralkörper an.

Kleiden wir diese *Newton*'sche Lehre in das Gewand der jetzt herrschenden Vibrations-Theorie, so erhalten wir die im Vorangehenden entwickelten Lehrsätze. Zwar nimmt diese Theorie keinen specifischen Licht„stoff", keinen Wärme„stoff" u. s. w. mehr an, nichtsdestoweniger besteht aber auch nach ihr das Strahlen von Licht und Wärme in einem rein materiellen Vorgange, in einer Bewegung, einem Erzittern ponderabler, widerstandleistender Substanzen. Ruhe ist Nacht und Tod, Bewegung gibt Licht und Leben

Eine von einem Punkte oder einer Fläche aus in einem unbegrenzten Medium erregte, undulirende Bewegung lässt sich aber nicht denken ohne eine gleichzeitige fortschreitende Bewegung, einem Fortgedrängtwerden der vibrirenden Massentheile,[1] und es liegt also nach der Vibrations-Theorie nicht weniger, als nach der Emanations-Theorie in dem Strahlen der Sonne ein Grund zu einer fortwährenden Massenverminderung dieses Fixsternes. Warum aber dem ungeachtet die Sonnenmasse nicht eine wirkliche Abnahme erleidet, davon wurde ein genügender Grund bereits angegeben.

Das Strahlen der Sonne ist die einer centripetalen Bewegung äquivalente centrifugale Action.

Der Wärme-gebende Effect der centrifugalen Sonnenthätigkeit kann durch unmittelbare Wahrnehmung aufgefunden werden. Nach Cap. III. beträgt derselbe in einer Minute 12650 Millionen Wärme-Kubikmeilen oder 5,17 Quadrillionen Wärmeeinheiten. Da nun, wie im 4ten Capitel gezeigt wurde, 1 K⁰ Asteroid-Masse 27½ bis 55 Millionen Wärmeeinheiten gibt, so folgt daraus, dass die Quantität der auf die Sonne niederstürzenden kosmischen Materien in jeder Minute zwischen 94000 und 188000 Billionen Kilogramme betragen muss.

Um zu diesem bemerkenswerthen Resultate zu gelangen, bedienten wir uns eines in der Naturforschung

1 Diese centrifugale Bewegung übt vielleicht jenen repulsiven Einfluss auf die Kometenschweife aus, den *Bessel* in der Nähe der Sonne wahrgenommen hat.

häufig zur Anwendung gebrachten Verfahrens. Durch Beobachtung des Mondlaufes verschaffen wir uns Aufschluss über die äussere Gestalt unserer Erde; mit der Drehwage bestimmt der Physiker das Gewicht eines Planeten, wie der Kaufmann ein Collo abwägt, und das Pendel ist dem Geologen zur Wünschelruthe geworden, womit er tief im Bauche der Erde gelegene Höhlungen zu entdecken vermag. So auch hier. Durch Beobachtung und Berechnung der Schallgeschwindigkeit in unserer Atmosphäre wird der Exponent des Verhältnisses der Wärmecapacitäten der Gase unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen gefunden und mittelst dieses Exponenten die durch irgend eine mechanische Arbeit, z. B. durch das Herabfallen eines Gewichtes producirte, Wärmemenge bestimmt. Aus der Wärme ferner, welche die Sonne auf einer kleinen Fläche unseres Erdbodens in einer gewissen Zeit erregt, wird der ganze strahlende Effect der Sonne berechnet, und das Facit einer Reihe von Beobachtungen und gesicherten Schlüssen ist die quantitative Bestimmung der kosmischen Massen, welche die Sonne aus dem Raume erhält, den sie mit ihren Strahlen erleuchtet.

Nach dem Massstabe irdischer Verhältnisse gemessen erscheint die gefundene Zahl von so vielen Billionen in jeder Minute ganz unglaublich gross. Dieselbe lässt sich aber unserem Vorstellungsvermögen näher bringen, wenn man sie mit anderen kosmischen Grössen vergleicht. Das uns zunächst gelegene Gestirn, der Mond, hat eine Masse von etwa 90000 Trillionen Kilogrammen; dieser kleine Himmelskörper würde

folglich hinreichen, den Verbrauch der Sonne 1 bis 2 Jahre lang zu decken. Die Masse der Erde aber wäre 60 bis 120 Jahre lang im Stande, die nöthige Nahrung für die Sonnenstrahlung abzugeben.

Zur Versinnlichung der Massen- und Entfernungsverhältnisse des Planetensystemes geben wir nach *Herschel* folgendes Bild. Als Sonne stelle man sich eine Kugel von 1 Meter Durchmesser vor. In einer Entfernung von 40 Metern befindet sich der nächste Planet, Merkur, in der Grösse eines Pfefferkornes von 3½ Millimeter Dicke. 78 und 107 Meter von der Sonne entfernt bewegen sich Venus und Erde, beide 9 Millimeter dick oder etwas mehr als erbsengross. Von der Erde nicht viel über ¼ Meter entfernt ist der Mond, ein Senfkorn von 2½ Millimeter Durchmesser. Mars hat in einer Entfernung von 160 Metern etwa den halben Durchmesser der Erde, und die kleineren Planeten, Vesta, Hebe, Asträa, Juno, Pallas, Ceres etc., gleichen Sandkörnern, in einer Entfernung von 250 bis 300 Metern von der Sonne. Jupiter und Saturn, in Entfernungen von 560 und 1000 Metern, gleichen Orangen von 10 und 9 Centimeter Dicke. Uranus, mit einem Durchmesser von 4 Centimetern, einer Baumnuss ähnlich, ist 2000 Meter, und der einem Apfel von 6 Centimeter Durchmesser vergleichbare Neptun, nahe doppelt so viel, oder etwa ½ geogr. Meile weit, von der Sonne entfernt. Von da an hätte man aber noch einen Raum von mehr als 2000 Meilen bis zum nächsten Fixsterne zurückzulegen.

Dieses Bild zu ergänzen, hat man sich nun noch

eine verschieden gruppirte, äusserst fein vertheilte Materie vorzustellen, die sich allmälig gegen die grosse Kugel im Mittelpunkte hinzieht um dort niederzufallen, und die, von dieser Kugel aus günstig erleuchtet, sonnenstaubartig das Zodiakallicht darstellt. Auch dieser Staub bildet ein wichtiges Glied in einer Schöpfung, wo Nichts von Ungefähr, sondern Alles mit göttlicher Zweckmässigkeit geordnet ist.

Die Oberfläche der Sonne beträgt 115000 Millionen Quadrat-Meilen oder $6^1/_8$ Trillionen Quadrat-Meter. Da nun das Quantum der in 1 Minute auf die Sonne stürzenden Asteroid-Massen 94000 bis 188000 Billionen Kilogramme beträgt, so folgt hieraus für 1 Quadrat-Meter Sonnenoberfläche eine Massenzunahme von durchschnittlich 15 bis 30 Grm. per Minute.

Um diesen Vorgang mit einer nahe liegenden terrestrischen Erscheinung zu vergleichen, erinnere man sich, dass ein schwacher Regen in einer Stunde eine 1 Millimeter hohe Wasserschichte gibt, (während starke Gewitterregen leicht das 10 bis 15fache Quantum liefern) welches für 1 Quadrat-Meter Oberfläche in einer Minute 17 Grm. ausmacht.

Durch dieses fortwährende Herabhageln kosmischer Stoffe müsste, wenn der centrifugale Process für sich allein bestände, sowohl das Volumen als das Gewicht der Sonne vermehrt werden. Die Zunahme des Volumens könnte aber nur auf eine für uns völlig unmerkliche Weise erfolgen; denn zur Vermehrung des

scheinbaren Durchmessers der Sonne um eine einzige Bogensekunde (der kleinsten bemerkbaren Grösse) wären, wenn man das specifische Gewicht der kosmischen Massen durchschnittlich dem der Sonne gleich setzt, 33000 bis 66000 Jahre erforderlich.

Nicht so unbemerkt könnte die Gewichtszunahme der Sonne vor sich gehen. Da sich nemlich die Umlaufsgeschwindigkeiten der Planeten bei gleichbleibender mittlerer Entfernung verhalten wie die Quadratwurzeln aus den Massenzahlen des Central-Körpers, so ergibt sich aus einer Gewichtszunahme der Sonne zugleich eine Beschleunigung der Planeten-Bewegungen oder eine Verkürzung ihrer Umlaufszeiten. Da die Masse der Sonne 2,1 Quinquillionen Kilogramme beträgt, so verhält sich die Masse der binnen Jahresfrist auf der Sonne anlangenden Stoffe zur Masse der ganzen Sonne, wie 1 : 21 bis 42 Millionen, und diese Zunahme für sich allein müsste also eine jährliche Verkürzung des siderischen Jahres um $^1/_{42}$ bis $^1/_{85}$ Millionentheil seiner Länge, oder um eine $^3/_4$ bis $^3/_8$ Zeitsekunde herbeiführen.

Eine solche Abnahme der Länge des siderischen Jahres stimmt aber mit den Beobachtungen der Astronomen keineswegs überein; wir werden desshalb wieder auf die im Eingange dieses Capitels aufgestellte Theorie zurückgeführt, dass die Sonne, dem Weltmeere ähnlich, in einem beständigen Wechsel von Zu- und Abfluss sich unverändert erhält, was mit der Annahme von einem Constant-bleiben der Summe aller lebendigen Kräfte im Universum harmonirt.

VII.

Die Sonnenflecken.

Der jüngere *Herschel* entwirft von der Sonnenoberfläche folgendes Bild:

„Wenn man die Sonne durch starke Fernröhren „betrachtet, die mit farbigen Gläsern versehen sind, „um die Hitze und den Glanz zu beseitigen, die sonst „unsere Augen verletzen würden, so bemerkt man „häufig grosse und ganz schwarze Flecken auf derselben, „welche mit einer Art von Rand umgeben sind, der „nicht so dunkel ist, und ein Halbschatten genannt „wird. Diese Flecken sind indessen nicht beständig „und unveränderlich. Wenn man sie von Tag zu Tag, „oder selbst von Stunde zu Stunde beobachtet, so sieht „man sie grösser werden oder sich zusammenziehen, „ihre Form verändern und endlich ganz verschwinden, „oder von Neuem an Stellen der Oberfläche hervor„brechen, wo zuvor keine waren. In den Fällen des „Verschwindens zieht sich der mittlere dunkle Fleck „immer in einen Punkt zusammen und verschwindet „früher als der Rand. Zuweilen brechen sie auf, oder „theilen sich in zwei oder mehrere und bieten alsdann „in diesen alle Merkmale jener grossen Beweglichkeit „dar, welche nur dem flüssigen Zustande angehört, „und jener ausserordentlichen Unruhe, die nur mit dem „atmosphärischen oder gasförmigen Zustande des Stoffes „verträglich zu sein scheint. Der Maasstab, nach wel„chem ihre Bewegungen statt finden, ist unermesslich.

„Eine einzige Bogensekunde, von der Erde aus gesehen, „entspricht auf der Sonnenscheibe 465 englischen Mei„len; und ein Kreis von diesem Durchmesser, welcher „desshalb beinahe 220000 englische Quadratmeilen ent„hält, ist der kleinste Raum, den man auf der Sonne „als eine *sichtbare Fläche* deutlich erkennen kann. Es „sind indessen Flecke beobachtet werden, die einen „Lineardurchmesser von mehr als 45000 englischen „Meilen hatten, ja selbst von noch weit grösserem „Durchmesser, wenn man einigen Nachrichten trauen „darf. Damit ein solcher Fleck sich binnen 6 Wochen „gänzlich schliesse (denn sie dauern kaum jemals länger), „müssen seine Ränder sich täglich um mehr als 1000 „englische Meilen einander nähern."

„Derjenige Theil der Sonnenscheibe, welcher keine „Flecken hat, ist darum bei Weitem noch nicht gleich„förmig glänzend. Der Grund desselben ist fein ge„sprenkelt mit sehr kleinen dunkeln Punkten, Poren, „die bei aufmerksamer Betrachtung in einem Zustande „beständiger Veränderung gefunden werden. Es gibt „nichts, was diese Erscheinung so treu darstellt, als „das langsame Niedersinken einiger flockigen chemischen „Präcipitate in einer durchsichtigen Flüssigkeit, wenn „man dieselben senkrecht von oben herab betrachtet. „Diese Darstellung ist überhaupt so treu, dass es kaum „möglich ist, nicht auf den Gedanken zu kommen, „dass ein leuchtendes Medium mit einer durchsichtigen „und nicht leuchtenden Atmosphäre untermengt, aber „nicht gemischt sei, und entweder in derselben, gleich „den Wolken in unserer Luft, schwimmen, oder sie

„in ausgedehnten Flächen und in flammenartigen Säu-„len oder nordlichtähnlichen Ausstrahlungen durch-„dringen."

„Endlich bemerkt man in der Nähe grosser Flecke „oder ausgebreiteter Gruppen derselben, oft weite Räume „der Oberfläche mit stark gezeichneten, gekrümmten „oder in Zweige auslaufenden Strichen bedeckt, die „weit glänzender sind, als die übrigen Theile. Es „sind dieses die sogenannten Sonnenfackeln, zwischen „welchen häufig dergleichen Flecken entstehen, wenn „sie nicht bereits vorhanden sind. Man kann sie mit „grosser Wahrscheinlichkeit vielleicht als die Kämme „unermesslicher Wogen in den Lichtregionen der Son-„nenatmosphäre betrachten, die eine heftige Bewegung „in ihrer Nachbarschaft anzeigen."

Soweit *Herschel*. Die auf der Oberfläche der Sonne wahrnehmbaren Revolutionen deuten offenbar auf das Eindringen einer äusseren Gewalt hin, indem sich sonst jede der Sonne inwohnende, bewegende Kraft durch ihre Actionen zuletzt erschöpfen müsste, und es sind dieselben somit kein unwichtiger Beleg für die im Bisherigen vorgetragene Theorie.

Inzwischen liegt es in der Natur der Sache, dass wir von der physischen Heliographie nur geringe Kenntnisse besitzen können; bietet uns doch unser eigener Planet in seinen meteorischen Processen u. s. w. noch so viel Räthselhaftes dar. Aus diesem Grunde lässt sich denn etwas Näheres über die Art und Weise, wie die Sonnenoberfläche durch die eindringenden kosmischen Massen, die uns ihrer Natur nach selbst wieder

grösstentheils unbekannt sind, erregt wird, nicht wohl angehen; doch möge es erlaubt sein, einige naheliegende Vermuthungen hierüber zusammenzustellen.

Bei der auf der Sonne herrschenden ausserordentlich hohen Temperatur kann dort an ein eigentliches Festland nicht gedacht werden, vielmehr stellt ohne Zweifel die ganze Sonnenoberfläche nur einen ununterbrochenen Ocean feurig flüssiger Materien dar. Auf diesem Ocean liegt eine Schichte glühender Gase, eine Flammenatmosphäre, Photosphäre, deren Existenz *Arago* aus den Eigenschaften des Sonnenlichtes nachgewiesen hat. Diese elastisch-flüssige Hülle setzt sich in immer grösserer Verdünnung nach oben hin in den Aether fort.

Da die meisten Materien Neigung haben, bei gewissen hohen Temperaturgraden Gasform anzunehmen, so kann die Höhe der Sonnenatmosphäre nicht unbeträchtlich sein. Es sind aber gute Gründe vorhanden, welche an eine relativ grosse Ausdehnung dieser Atmosphäre dennoch nicht glauben lassen.

Da nemlich die Schwere auf der Sonnenoberfläche 28mal grösser ist, als auf der Oberfläche der Erde, so übt eine und dieselbe Luftsäule dort einen 28mal grösseren Druck aus, als hier. Dieser grössere Druck beschränkt aber in so weit die Ausdehnung der Luftsäule, dass er einer Temperatur-Erhöhung von nahe 8000^0 das Gleichgewicht hält.

Noch viel mehr als diese grössere Schwere kommen aber die den elastischen Flüssigkeiten eigenthümlichen Raum- und Druckverhältnisse in Betracht, vermöge derer die Verdünnung oder Verdichtung dieser Materien

mit zunehmender Höhe oder Tiefe sehr rasch wächst. Im allgemeinen steigt nemlich die Verdünnung in einer geometrischen Progression, wenn die Höhe in einem arithmetischen Verhältnisse zunimmt. Auf der Erde entspricht einer Höhe oder Tiefe von ungefähr $2\frac{1}{2}$, von 5 und von 30 Meilen, beziehungsweise eine 10-malige, 100malige und billionenmalige Verdünnung oder Verdichtung der Atmosphäre.

Dieses Gesetz, wiewohl modificirt durch die in den verschiedenen Schichten der Photosphäre herrschenden bedeutenden Temperaturverschiedenheiten und durch die uns unbekannte chemische Natur jener Materien, muss auch für die Sonne eine beiläufige Gültigkeit haben. Da indessen die mittlere Temperatur der Sonnenatmosphäre weit höher sein muss, als die der Erdatmosphäre, so wird auch die Dichtigkeit der Sonnenatmosphäre mit der Höhe und Tiefe weniger schnell ab- und zunehmen, als dieses auf der Erde der Fall ist. Nehmen wir nun an, dass auf der Sonne diese Ab- und Zunahme selbst 10mal langsamer erfolge, als auf der Erde, so ergibt sich daraus für eine Höhe von 25, von 50 und von 300 Meilen beziehungsweise eine 10fache, eine 100fache und eine billionenfache Verdünnung. Daraus folgt aber, dass die Höhe der Sonnenatmosphäre keine 400 geogr. Meilen, oder nicht $\frac{1}{240}$ des Sonnenhalbmessers betragen kann. Denn setzt man auch die Dichtigkeit der Sonnenatmosphäre an ihrer untern Grenze 1000mal grösser, als die der Erdatmosphäre an der Meeresfläche, also grösser als die Dichtigkeit des tropfbarflüssigen Wassers, was doch

nothwendig schon zu gross ist, so ist die Atmosphäre der Sonne in einer Höhe von 400 Meilen schon 10 billionenmal dünner als die Erdatmosphäre, d. h. sie hat dort nach menschlichen Begriffen zu sein aufgehört.

Aus dieser Betrachtung geht hervor, dass die Sonnenatmosphäre im Vergleiche mit der Ausdehnung des Sonnenkörpers nur eine geringe Höhe haben kann, und zugleich lässt sich daraus entnehmen, dass auf der Sonnenoberfläche, der grossen Hitze ungeachtet, unter einem viele tausend Erdatmosphären betragenden Drucke möglicherweise Wasser und ähnliche flüchtige Materien in tropfbarflüssigem Zustande sich befinden können.

Da die Luftarten, wenn sie nicht mit festen Partikeln untermengt sind, auch bei sehr hoher Temperatur meist nur ein schwaches, durchsichtiges Licht, — ein sogenanntes *lumen philosophicum* — geben, so stammt wahrscheinlich das blendend weisse Sonnenlicht hauptsächlich von dem solideren Theile der Sonnenoberfläche her. Nimmt man dieses an, so wird man von selbst darauf geführt, die Entstehung der Sonnenflecken und Fackeln darin zu suchen, dass durch höchst gewaltsame meteorische Processe, zu welchen auf der Sonne alles Material vorhanden ist, und zum Theil wohl auch durch die unmittelbare Einwirkung ganzer Asteroiden-Schwärme u. s. w., der lichtgebende Ocean einerseits in seinen Tiefen aufgewühlt, andererseits zu Bergen aufgethürmt wird. Die auf solche Weise blos gelegten tieferen und mehr abgekühlten Schichten des Sonnenkörpers mögen uns dann als Flecken, die aufgeworfenen Gebirge aber als Fackeln erscheinen.

Dass die von den Flecken ausgehenden Strahlen in geringerem Grade Wärmeerregend sind, als die Strahlen von helleren Theilen der Sonnenscheibe, scheint durch die hierüber von einem nordamerikanischen Physiker, *Henry*, angestellten Versuche bewiesen zu sein.

Noch ist des merkwürdigen Umstandes Erwähnung zu thun, dass die Flecken in eine Zone eingeschlossen erscheinen, die sich etwa auf 30° zu beiden Seiten des Sonnenäquators erstreckt. Der Gedanke liegt nahe, jene solaren, die Flecken und Fackeln bedingenden Processe sowohl mit der Rotationsgeschwindigkeit der Sonnenoberfläche, als auch mit den aus der Zodiakallicht-Wolke niederstürzenden Massen in einen ursächlichen Zusammenhang zu bringen und hieraus die Beschränkung der Sonnenflecken auf die Aequatorialzone abzuleiten. Dabei bleibt es jedoch immer noch räthselhaft, mit welchen Mitteln die Natur die den Polarzonen wie der Aequatorialgegend zukommende Gleichförmigkeit des Ausstrahlungsvermögens der Sonne bewirkt hat.

VIII.

Die Ebbe und Fluth.

Das Strahlen der Sonne ist der letzte Grund von fast allen lebendigen Kraftäusserungen und Bewegungen auf der Erdoberfläche. Jedoch machen einige Processe hievon eine merkwürdige Ausnahme.

Unter diese gehört die Ebbe und Fluth. Diese turerscheinung, über welche *Newton*, *Laplace* u. v. A.

herrliche und in vieler Hinsicht erschöpfende Untersuchungen angestellt haben, verdankt bekanntlich ihre Entstehung einerseits der Anziehung, welche Mond und Sonne auf die beweglichen Theile der Erdoberfläche ausüben, andererseits aber der Axendrehung der Erde.

Die abwechselnde Erhebung und Senkung des allgemeinen Wasserspiegels, das Fluthen und Ebben des Meeres, lässt sich mit dem Steigen und Fallen eines unter dem Einflusse der Erdanziehung schwingenden Pendels vergleichen.

Ein solches Instrument, das fortwährend einen, wenn auch noch so geringen, Widerstand erleidet — ein sog. physisches Pendel — nimmt entweder in seinen Excursionen beständig ab, oder es bedarf, wenn es gleichförmig fortschwingen soll, einer beständigen, dem Widerstande entsprechenden Zufuhr von lebendiger Kraft.

Eine solche Zufuhr wird bei den Pendeluhren durch ein aufgewundenes Gewicht oder durch eine gespannte Feder erzielt. Die bewegende Kraft, welche zum Heben des Gewichtes oder zur Spannung der Feder verbraucht wird, und welche nun in dem gehobenen Gewichte oder der gespannten Feder repräsentirt ist, bewältigt eine Zeit lang die vorhandenen Widerstände und bewirkt dadurch einen gleichmässigen Gang des Pendels und der Uhr. Dabei sinkt aber das Gewicht herunter, oder die Feder spannt sich ab, und es muss daher die Uhr unter einem Aufwande von bewegender Kraft von neuem aufgezogen werden, oder sie steht stille.

Man hat die durch die Gezeiten hervorgerufenen Meeresströmungen zum Betriebe von Wasserrädern benützt. Solche Werke unterscheiden sich auf eine merkwürdige Weise von den gewöhnlichen Flussmühlen, indem diese die lebendige Kraft, mit der sie arbeiten, dem strahlenden Effecte der Sonne, jene aber dem Rotations-Effecte der Erde zu verdanken haben.

Verschiedene Ursachen tragen dazu bei, die Gewässer des Oceans in einer immerwährenden, theils undulirenden, theils fortschreitenden Bewegung zu erhalten. Ausser dem so eben erwähnten Einflusse des Mondes und der Sonne auf die rotirende Erde gehört insbesondere der Einfluss hieher, den die Bewegungen der untersten Luftschichten auf die Meeresoberfläche ausüben; ferner die verschieden grosse Erwärmung des Meerwassers in den verschiedenen Zonen; endlich ist auch noch die Configuration der Beckenwandungen, des Meeresgrundes und der Küsten von mannigfaltigem Einflusse auf die Geschwindigkeit, die Richtung und die Ausdehnung der Meeresströmungen.

Auch die in der elastisch-flüssigen Hülle unseres Planeten stattfindenden Bewegungen setzen, ebenso wie die Bewegungen der Gewässer, das Vorhandensein und den Verbrauch einer lebendigen Kraft voraus, wodurch die allezeit vorhandenen Widerstände überwältigt und einem Gleichgewichtszustande oder einem Zustande der Ruhe entgegengewirkt wird. Es kann aber die zur Erregung der Luftströmungen erforderliche Arbeit im allgemeinen selbst wieder dreifachen Ursprungs sein. Sie kann entweder von dem strahlenden Effecte der

Sonne, oder von der ausströmenden inneren Erdwärme, oder endlich von dem Rotations-Effecte der Erde herrühren.

Unter diesen Ursachen kommt in quantitativer Hinsicht der Sonne eine bei weitem überwiegende Bedeutung zu. Nach den Messungen *Pouillet's* erhält nemlich (siehe oben Cap. III.) ein Quadrat-Meter Erdoberfläche durchschnittlich in einer Minute 4,408 Wärmeeinheiten von der Sonne. Da nun (siehe oben Cap. II.) eine Wärmeeinheit einer mechanischen Arbeit von 367 Kilogrammetern äquivalent ist, so kommt auf ein Quadrat-Meter Erdoberfläche eine Arbeitszufuhr von 1620 Km. per Minute; oder in der nemlichen Zeit auf die ganze Erde eine Zufuhr von 825000 Billionen Km. Eine Arbeit = 75 Km. per Sekunde pflegt man eine Pferdekraft zu nennen. Hiernach wäre der Effect der Sonnenstrahlen nach mechanischer Arbeit berechnet für ein Quadrat-Meter Erdoberfläche = 0,36, und der Toteleffect für die ganze Erde = 180 Billionen Pferdekräfte. Ein nicht unerheblicher Theil dieser enormen Quantität von lebendiger Kraft wird zur Hervorbringung atmosphärischer Actionen verbraucht, wodurch eine Menge, zum Theil sehr lebhafter, Bewegungserscheinungen in dem Dunstkreise der Erde hervorgerufen werden.

Der grossen Mannigfaltigkeit der durch die Sonne hervorgerufenen meteorischen Processe unerachtet lässt sich doch ein einfacher Grundtypus der Luftströmungen feststellen. In Folge der ungleichförmigen Erwärmung der Erde unter den verschiedenen Breitegraden dringt

nemlich allezeit die kältere und desshalb schwerere Luft der Polargegenden in einer unteren Strömung gegen den Aequator hin, während dagegen in der Aequatorialzone die erwärmte Luft in die Höhe steigt und in einer oberen Strömung wieder gegen die Pole abfliesst, so dass auf solche Weise die Luft auf jeder Halbkugel einen förmlichen Kreislauf beschreibt.

Diese Luftströmungen werden aber bekanntlich durch die Axendrehung der Erde wesentlich modificirt, so dass die vom Pole gegen den Aequator fliessende Luft vermöge der ihr eigenthümlichen geringeren Rotations-Geschwindigkeit eine der Umdrehung der Erde entgegengesetzte, von Ost nach West gehende, die vom Aequator gegen die Pole hinziehende Luft aber im Gegentheile eine der rotirenden Erde vorauseilende, von West nach Ost gehende Bewegung erhält. Durch die erstere dieser Strömungen, durch die östlichen Winde, muss nun offenbar der Rotations-Effect der Erde vermindert, durch die letztere aber, oder durch die westlichen Winde, vermehrt werden. Das Gesammt-Resultat dieser entgegengesetzten Einflüsse ist aber nach bekannten mechanischen Principien für die Axendrehung der Erde mathematisch genau $= 0$, so dass diese Strömungen zusammen, weil sie sich gegenseitig das Gleichgewicht halten, auf die Axendrehung der Erde nicht den geringsten Einfluss äussern können. Dieser wichtige Satz ist von *Laplace* durch einen in das Einzelne gehenden Calcul bewiesen worden.

Das nemliche Gesetz gilt aber auch ganz allgemein für jede denkbare Action, sei es in der Luft, sei es

zu Wasser oder auf dem Lande, die durch den strahlenden Effect der Sonne, oder auch durch die aus dem Innern der Erde zur Oberfläche gelangenden Wärme hervorgerufen wird. Jede einzelne, auf solche Art erregte Bewegung, wenn sie auch für sich allein einen Einfluss auf die Erdrotation ausüben würde, wird durch eine correspondirende, aber in entgegengesetzter Richtung wirkende, Bewegung genau compensirt, so dass die Summe aller dieser Wirkungen, oder die sogenannte resultirende Mittelkraft, für die Erdrotation immer = 0 bleibt.

Bei denjenigen Actionen aber, die man unter dem Namen der Ebbe und Fluth begreift, findet eine solche Compensation nicht statt; denn der diese Actionen erregende Druck oder Zug ist allezeit vorherrschend von Ost nach West gerichtet, so dass, wenn auch die durch diesen Druck hervorgerufenen Strömungen in verschiedenen Richtungen hin und her fluthen, doch allezeit die der Erdrotation *entgegengesetzte* Richtung die überwiegende ist.

Die Geschwindigkeit der durch die Ebbe und Fluth der Atmosphäre bewirkten Luftströmung beträgt nach *Laplace's* Berechnung nicht weiter als 75 Millimeter in einer Sekunde, oder nahe eine geogr. Meile in 24 Stunden, woraus man leicht sieht, dass diese Action im allgemeinen durch die weit ausgezeichneteren Wirkungen der Sonnenwärme für den Beobachter verwischt werden muss. Was aber den Einfluss dieser Luftströmung auf den Rotations-Effect der Erde betrifft, so ist derselbe nach den Gesetzen der Mechanik nichts-

destoweniger gerade eben so stark, als ob von der Sonne aus die Atmosphäre in völliger Ruhe gelassen würde.

Aus demselben Gesichtspunkte sind auch die combinirten Bewegungen von Luft und Wasser zu betrachten. Denkt man sich nemlich die Einwirkung der Sonne und der inneren Erdwärme auf diese beweglichen Medien als nicht vorhanden, so bleibt doch noch eine von Ost nach West gehende Strömung des Meeres wie der Luft übrig, wodurch die Axendrehung der Erde ein Hinderniss erfährt.

In der That ist, wie bekannt, die vorzugsweise von Ost nach West gerichtete Bewegung des Meerwassers durch Beobachtung längst constatirt. Dass aber die mit Mond und Sonne fortschreitenden Gezeiten unter den Ursachen dieses allgemeinen Weststromes auf eine erhebliche Weise mitwirken, dies ist eine ausgemachte Sache.

Ausser der Ebbe und Fluth können nemlich zu dieser beobachteten allgemeinen Strömung des oberflächlichen Meereswassers von Ost nach West nur die unteren, in der nemlichen Richtung gehenden Luftströmungen, namentlich also die in den Tropengegenden fast ununterbrochen wehenden Passatwinde, beitragen. Die westliche Strömung des Oceans ist aber keineswegs auf die Region dieser östlichen Winde beschränkt. Man findet diese Meeresströmung in der zwischen den Passaten liegenden Gegend der Windstillen, wo sie eine mehrere Meilen täglich betragende Geschwindigkeit besitzt; man findet sie weit über das

Gebiet der Passatwinde hinaus, gegen Nord und Süd, in Gegenden, wo Westwinde häufig, oft vorherrschend, wehen, am Kap der guten Hoffnung, in der Magellanischen Meerenge, im nördlichen Polarmeere u. s. f.

Eine dritte, zu einer allgemeinen Meeresströmung noch mitwirkende Ursache ist die ungleichförmige Erwärmung des Meerwassers in den verschiedenen Zonen. Nach hydrostatischen Gesetzen muss nemlich das kältere Wasser der höheren Breitegrade gegen den Aequator, und das wärmere Wasser des Aequators, so weit es nicht, was aber hier kaum in Betracht kommt, verdampft, gegen die Pole hinfliessen, wodurch im Wasser ein ähnlicher Kreislauf wie in der Atmosphäre hervorgebracht wird. Aus diesem Grunde ist ein kalter, unterer, vom Pol gegen den Aequator gerichteter, und ein wärmerer, oberflächlicher, vom Aequator gegen den Pol hinfliessender, Strom vorhanden. Die Wassertheile dieses letzteren Stromes müssen aber, ihrer grösseren Rotations-Geschwindigkeit wegen, die sie von der Linie mitbringen, eine Richtung von West nach Ost annehmen, und so liegt denn in den Temperaturverhältnissen der Erdoberfläche ein Grund zu einer vorherrschend west-östlichen Bewegung der oberflächlichen Wassertheile. Dass aber nichts destoweniger in Wirklichkeit die Bewegung des Oceans im Ganzen eine entgegengesetzte Richtung hat, dies ist ein sprechender Beweis von dem überwiegenden Einflusse der Gezeiten.

Da sich also aus Theorie und Erfahrung übereinstimmend ergibt, dass durch den Einfluss des Mondes

auf die rotirende Erde eine fortschreitende, von Ost nach West gehende, Bewegung der tropfbar- und elastisch-flüssigen Hüllen des Planeten hervorgerufen wird, die durch keine entgegengesetzte Action eine Compensation erleidet, so folgt, dass diese Strömung eine fortwährende Abnahme des Rotations-Effectes der Erde bewirken muss.

Dieser anhaltende, der Erdrotation entgegengesetzte Druck, den die Ebbe und Fluth ausübt, lässt sich auch aus statischen Gesetzen ableiten.

Durch die Gravitation des Mondes werden nemlich alle Massentheile der Erde ohne Ausnahme afficirt. Denkt man sich nun den Erdkörper durch die Ebene des Meridians, in welchem der Mond gerade steht, in zwei Halbkugeln, eine östliche und eine westliche, abgetheilt, so sieht man, dass der Mond durch seine Anziehung auf die eine, östliche, Halbkugel die Umdrehung der Erde zu verlangsamen —, durch die Anziehung auf die andere, westliche Halbkugel aber zu beschleunigen strebt.

Unter gewissen Bedingungen compensiren sich beide entgegengesetzte Tendenzen, womit die Einwirkung der Mondanziehung auf die Erdrotation zu Null wird. Dies geschieht, wenn beide Hemisphären auf eine gewisse Weise symmetrisch geordnet, oder auch, wenn alle Massentheile der Erde unveränderlich mit einander verbunden sind, in welch' letzterem Falle durch die Rotation eine Art von Symmetrie hergestellt wird.

Dreierlei Ursachen bedingen nun in der Wirklichkeit eine Abweichung der Erde von der völlig symme-

trischen Kugelgestalt: 1) die Abplattung an den Polen, 2) die Gebirge und 3) die Ebbe und Fluth. Die beiden ersten Ursachen geben keinen Grund zur Aenderung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde ab. Um sich aber den Einfluss, den die Ebbe und Fluth in dieser Hinsicht ausübt, deutlich zu machen, kann man sich die Erde als eine vollkommen symmetrische, mit Wasser gleichförmig bedeckte, Kugel vorstellen. Durch die Anziehung des Mondes und der Sonne wird das Gleichgewicht in dieser Wassermasse gestört und die Erdkugel in ein längliches Sphäroid umgewandelt, indem sich auf der Kugel zwei flache Wasserberge erheben, wovon der eine, der obere Fluthberg, dem Monde zugekehrt, der andere, der untere Fluthberg, von demselben abgewendet ist. Eine durch die Gipfel beider Fluthberge gezogene gerade Linie heisst die grosse Axe dieses Erd-Sphäroids.

Die so gestaltete Erde kann man sich in drei Theile zerlegt denken, in eine kleinere mittlere Kugel, und in zwei auf entgegengesetzten Seiten dieser Kugel angelegten Kugelabschnitte, die beiden Fluthberge. Da durch die Anziehung, welche der Mond auf die in der Mitte gelegene Kugel äussert, in Bezug auf die Rotations-Verhältnisse nichts geändert wird, so ist nur noch der Einfluss in Betracht zu ziehen, den die Mondanziehung auf die beiden Fluthberge allein ausübt. Der obere, dem Monde näher gelegene, Fluthberg wird, da seine Masse zum grösseren Theile vom Monde östlich gelegen ist, nach Westen, der untere Fluthberg, welcher nach Westen liegt, wird nach Osten hingezogen. Seiner

grösseren Nähe wegen wird aber der obere Fluthberg nicht allein *stärker* angezogen, sondern er bietet auch für die seitliche Ablenkung einen günstigeren Angriffswinkel dar, als der untere Fluthberg, so dass der Druck von Ost nach West des oberen Fluthberges den von West nach Ost des unteren Fluthberges *überwiegt*, und zwar verhalten sich diese Grössen, wie die Berechnung lehrt, nahe wie 14 : 13. Aus der Stellung also, welche die beiden Fluthberge gegen den Mond einnehmen, oder aus der unveränderlichen Lage der grossen Axe des Erdsphäroids gegen den Schwerpunkt des Mondes, resultirt ein überwiegend von Ost nach West gehender Druck, welcher der Umdrehung der Erde ein Hinderniss entgegensetzt.

Will man die Gravitation mit der magnetischen Anziehung vergleichen, so wird die Erde zu einem Magnetstabe, dessen stärker angezogener Pol durch den oberen, dessen schwächerer, oder relativ zum neutralen Mittelpunkte abgestossener, Pol durch den unteren Fluthberg dargestellt ist. Indem nun der obere Fluthberg dem Monde sich zuzukehren strebt, verhält sich die Erde wie eine aus ihrem magnetischen Meridiane gebrachte Boussole, die um in denselben zurückzukehren, beständig einen seitlichen Druck ausübt.

Vorstehende einfache Darlegung mag genügen, um den Einfluss, den der Mond auf die Umdrehung der Erde ausübt, nachzuweisen. Zur quantitativen Bestimmung des aus der Ebbe und Fluth resultirenden verzögernden Druckes ist ein mechanischer Calcul erforderlich, der im Wesentlichen denselben Weg einzuschlagen

hat, wie die Untersuchungen über die Nutation der Erdaxe und die Präcession der Tag- und Nachtgleichen. Da aber die vielgestaltige Vertheilung von Land und Wasser, die ungleichförmige und unbekannte Tiefe des Meeres und die für das offene Meer noch nicht genau erforschte mittlere Zeitdifferenz zwischen der Culmination des Mondes und dem Eintreten des hohen Wassers (die an den Küsten sogen. Hafenzeit), als Funktionen in diese Rechnung eingehen, so bleibt die gesuchte Grösse ein schwer und unsicher zu bestimmendes Element.

Inzwischen kann dieser verzögernde Druck, wenn er auf den Aequator reducirt gedacht wird, auch bei den niedrigsten Positionen nicht kleiner als 1000 Millionen Kilogramme angenommen werden. Um von einer festen Vorstellung auszugehen, sei es erlaubt, diese runde Zahl den folgenden Rechnungen beispielsweise zu unterlegen.

Da die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde unter dem Aequator 464 Meter beträgt, so beläuft sich der zur Unterhaltung von Ebbe und Fluth stattfindende Verbrauch von mechanischer Arbeit hiernach auf 464000 Millionen Kilogrammeter in jeder Sekunde, oder auf 6000 Millionen Pferdekräfte. Der Effect von Ebbe und Fluth wäre somit etwa auf $\frac{1}{30000}$ von dem Effecte, den die Erde von der Sonne aus erhält, anzuschlagen.

Der Rotations-Effect, den die Erde vermöge ihrer Axendrehung gegenwärtig besitzt, lässt sich aus dem Volumen, aus der Masse und aus der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde berechnen. Das Volumen der Erde beläuft sich auf 2 650 686 000 Kubikmeilen, das

specifische Gewicht derselben ist nach *Reich* = 5,44. Nimmt man, was der Einfachheit wegen hier geschehen mag, die Dichtigkeit der Erde als gleichförmig an, so ergibt sich aus diesen Prämissen und der genau bekannten Umdrehungsgeschwindigkeit, der gesuchte Rotations-Effekt der Erdkugel = 25840 Quadrillionen Kilogrammeter. Werden hievon 2500 Jahre lang in jeder Sekunde 464 000 Millionen Km. zur Ebbe und Fluth verbraucht, so wird dadurch jener ganze Effect in Summa um 36600 Trillionen Km. oder um etwa $\frac{1}{700\,000}$ seiner Grösse vermindert.

Bei constant bleibendem Volumen verhalten sich die Umdrehungsgeschwindigkeiten einer Kugel wie die Quadrat-Wurzeln aus den Rotations-Effecten. Hieraus folgt, dass in der angenommenen Zeit von 2500 Jahren die Tageslänge durch den Einfluss von Ebbe und Fluth um $\frac{1}{1\,400\,000}$, oder den Tag zu 86 400 Sekunden berechnet, um $\frac{1}{16}$ Sekunde vergrössert werden müsste, falls das Volumen der Erde ein unveränderliches wäre. Ob aber diese letzte Voraussetzung in der Wirklichkeit begründet ist oder nicht, diese Frage hängt mit den Temperatur-Verhältnissen unseres Planeten zusammen, die im folgenden Capitel besprochen werden sollen. —

Auch auf den Mondlauf wirkt die Ebbe und Fluth störend zurück. Durch die stärkere Anziehung, den der obere, östlich vom Monde gelegene Fluthberg auf den Mond ausübt, wird die Tangential-Geschwindigkeit dieses Satelliten fortwährend vermehrt und dadurch der mittlere Abstand von Mond und Erde, sowie die Umlaufszeit des Mondes, vergrössert. Diese

Störung ist aber, wie die Berechnung lehrt, so unbedeutend, dass dadurch die Umlaufszeit des Mondes während der Dauer von Jahrhunderten nur um einen kleinen Bruchtheil einer Sekunde verlängert wird.

IX.

Die innere Wärme der Erde.

Ohne Zweifel hat es einmal eine Zeit gegeben, in welcher die Erde in ihrer jetzigen Grösse noch nicht bestanden hat. Dieser einfachen Annahme gemäss lässt sich die Entstehung unseres Planeten zunächst auf eine Vereinigung zuvor getrennter Massen zurückführen.

Bei einem solchen mechanischen Verbindungs-Processe von Massen zweiter Ordnung mit Massen zweiter und dritter Ordnung u. s. f., kommen die nemlichen Gesetze wieder in Anwendung, die schon in Beziehung auf die Sonne entwickelt worden sind. Es muss beim Zusammenstossen dieser Massen allezeit eine den Quadraten der Geschwindigkeiten, oder eine dem mechanischen Effecte proportionale, Wärmemenge hervorgebracht werden.

So wenig man auch im Stande ist, über die näheren Umstände der vorweltlichen Existenz der constituirenden Bestandtheile unserer Erde etwas sicheres anzugeben, so ist es doch von nicht geringem Interesse, unter Zugrundelegung möglichst einfacher Annahmen, einen Massstab zu erhalten, nach welchem die bei dem präsumirten kosmisch-tellurischen Verbindungsprocesse entwickelten Wärmemengen geschätzt werden können.

Demgemäss wollen wir zunächst den Erdkörper als aus zwei Theilen entstanden betrachten, die ihre relativen Bewegungen nur durch ihre gegenseitige Anziehung erhalten haben sollen. Die ganze Masse der jetzt vereinigten Erde sei, nach Kilogrammen gezählt, $= T$, die beiden Theile aber seien, $= T - x$ und $= x$. Das Grössenverhältniss dieser beiden Theile unter sich kann nun unendlich mannigfaltig gedacht werden. Die beiden äussersten Fälle sind die, wo entweder x im Verhältnisse zu T als unendlich klein zu betrachten ist, oder aber $x = T - x = \frac{1}{2} T$ wird. Diese beiden Fälle, welche einen Rahmen für alle denkbaren Verhältnisse der Stücke $T - x$ und x bilden, müssen jetzt etwas näher erörtert werden.

Es sei zuerst x im Verhältnisse zu $T - x$ oder zu T unendlich klein, so ist, da ein Herabfallen von terrestrischen Höhen bei der vorliegenden Betrachtung zum voraus ausgeschlossen bleibt, die Endgeschwindigkeit, mit der x, sei es nun nach einem geradlinigen Herabfallen aus grosser Ferne, oder nach stattgehabter Centralbewegung um die Erde, auf der Erdoberfläche ankommt, den im 4. Cap. in Beziehung auf die Sonne entwickelten Gesetzen gemäss, in ein Cadre von 7908 bis 11183 Meter eingeschlossen. Der diesem Vereinigungs-Processe entsprechende Wärme-Effect beträgt, je nach dem Werthe, den die grosse Bahnaxe von x hat, zwischen $8685 \times x$ und $17370 \times x$ Wärmeeinheiten. Da aber x im Vergleiche mit T der Annahme gemäss unendlich klein ist, so verschwindet die auf solche Weise producirte Wärme spurlos bei ihrer Ausbreitung auf die Erdmasse.

Mit der Zunahme von x wächst aber die Quantität der Verbindungswärme, und für den als zweiten Fall angenommenen Werth $x = \frac{1}{2} T$ beträgt die entwickelte Wärme zwischen $6000 \times T$ und $8685 \times T$ Wärmeeinheiten.

Setzt man die Wärme-Capacität der Erde gross, nemlich nach dem Volumen berechnet = der des Wassers, oder nach dem Gewichte berechnet = 0,184, so ergibt sich aus dem Bisherigen, dass die Differenz zwischen der ursprünglichen Temperatur der constituirenden Theile und der resultirenden Temperatur der vereinigten Erde, oder die Quantität der mechanischen Verbindungs-Wärme, je nach der relativen Grösse jener Theile etc., von 0 bis 32000° und selbst bis 47000° C. habe betragen können!

Bei einer Vereinigung von mehr als zwei Theilen würde mit der Zahl dieser Theile auch die Grösse der Wärmeproduction noch zugenommen haben. Noch weit grösser müsste aber die Wärmeentwicklung gewesen sein, wenn die unsern Planeten constituirenden kosmischen Massen vor ihrer Verbindung in *getrennten* Bahnen um die Sonne sich bewegt und durch eine gleichsam zufällige Begegnung einander getroffen hätten. Inzwischen hat diese letztere Annahme aus verschiedenen Gründen die Wahrscheinlichkeit gegen sich. —

Viele Thatsachen deuten darauf hin, dass die ganze Erdmasse früher in feurig-flüssigem Zustande sich befunden hat und allmälig von ihrer Oberfläche aus, und zwar bis jetzt zu einer verhältnissmässig nur geringen Tiefe, erkaltet ist.

Die Gestalt der Erde liefert hiefür den ersten Beweis. „Die Gestalt der Erde ist ihre Geschichte.“ Nach den sorgfältigsten Messungen besitzt nemlich die Erde genau diejenige an ihren Polen abgeplattete Kugelform, die einer flüssigen Masse von der Umdrehungsgeschwindigkeit unserer Erde zukommt, woraus sich mit grosser Sicherheit schliessen lässt, dass die Erde zu jener Zeit, als sie ihre Axendrehung erhielt, flüssig gewesen sein muss. Dass aber dieser flüssige Zustand nicht durch wässrige Auflösung, sondern nur durch schmelzendes Feuer bedingt gewesen sein konnte, dieses darf wohl jetzt, nach lange gepflogenem Streite, als ausgemachte Sache betrachtet werden.

Auch der Wärmezustand der Erdrinde beweist noch heute die im Innern der Erde herrschende Hitze. Durch viele genaue Versuche und Messungen ist die mit der Tiefe zunehmende Wärme der Erdrinde längst als thatsächlich constatirt. So fand man z. B. bei Bohrung des 546 Meter tiefen artesischen Brunnen zu Grenelle für je 30 Meter Tiefe eine Zunahme von 1° Wärme. Die gleiche Temperatur-Zunahme wurde bei dem 671 Meter tiefen artesischen Brunnen zu Mondorf im Luxemburgischen gefunden, dessen Wasser 34° hat, und der mithin, wie der Brunnen zu Grenelle, als wahre Therme zu betrachten ist.

Die heissen Quellen alle sind handgreifliche Beweise von der in der Tiefe herrschenden hohen Temperatur. Die Sachverständigen sind darüber einig geworden, dass die wässrigen Niederschläge aus der Atmosphäre, der Regen, Thau, Hagel, Schnee, die

einzigen Ursachen der Quellenbildung sind. Das meteorische Wasser dringt, seiner Schwere folgend, wo es Gelegenheit findet in die Erde ein und kommt an tieferen Stellen heberartig emporsteigend als Quellwasser wieder zu Tage. Wenn nun Wasser durch senkrechte Felsenspalten in bedeutende Tiefen hinabgelangt, so eignet es sich die dort herrschende Temperatur an und kehrt erwärmt zur Oberfläche der Erde zurück.

Häufig unterscheiden sich solche Wasser durch nichts als durch ihren Wärmegehalt von gewöhnlichen Quellen. Hat aber das Wasser Gelegenheit, entweder mineralische Bestandtheile in der Tiefe aufzulösen, oder auch arzneilich wirksame Pflanzenstoffe dem Humus zu entführen und sich zu bewahren, so wird es dadurch zur Thermal-Heilquelle. Beispiele von *mineralischen* Thermen sind: Aachen, Carlsbad. Beispiele von *vegetabilischen* Thermen (irrthümlich „indifferente Thermen" genannt) Wildbad, Pfäffers u. s. w.

Noch entschiedener, als durch das heisse Wasser dieser Quellen, wird die Hitze der inneren Erde durch die aus der Tiefe emporsteigenden feuerflüssigen Massen beurkundet. Wie schon erwähnt wurde, rechnet man etwa auf 30^{m} Tiefe eine Temperatur-Zunahme von 1^{0} C. Ob es nun gleich keineswegs glaublich ist, dass diese Znnahme bis gegen den Mittelpunkt der Erde hin sich erstrecke, so lässt sich doch eine solche Zunahme für eine immerhin beträchtliche Tiefe als stetig fortwachsend mit Sicherheit annehmen, woraus sich für eine Tiefe von einigen Meilen ein Hitzegrad ergibt, bei welchem die meisten Materien in geschmol-

zenem Zustande sich befinden müssen. Solche glühend flüssige Massen steigen an vielen Orten durch die erkaltete Erde hindurch als Lava-Ströme an das Tageslicht empor. —

Ueber die Entstehung der als constatirt zu betrachtenden inneren Erdwärme hat sich ein verdienter Naturforscher in der neuesten Zeit auf folgende Weise geäussert:

„Es kann sich allerdings Niemand auf die letzten „Ursachen aller Dinge einlassen. Aber soviel sieht „jeder Denkende ein, dass ebenso viel Grund dazu „da ist, dass ein Körper, wie z. B. die Erde, warm, „d. h. wärmer als gefrorenes Wasser oder mensch„liches Blut sei, als dass er kalt oder vielmehr „kälter als jene sei. Eine besondere Ursache dieser „absoluten Wärme ist eben so wenig nöthig, als „eine Ursache der Bewegung oder Ruhe. Nur die „Störung, d. h. der Uebergang von einem Verhältnisse „in das andere, fordert und gewährt Erklärungen."

Offenbar ist diese Meditation nicht geeignet, das Bedürfniss nach einer Erklärung der fraglichen Erscheinung abzuschneiden, denn da jede Materie das Bestreben hat, ihre Temperatur mit der ihrer Umgebung in das Gleichgewicht zu setzen und im Zustande der Ruhe sofort zu beharren, so ist man überall, wo eine Materie höher temperirt, als ihre Umgebung gefunden wird, zu schliessen berechtigt und genöthigt, dass hier vor einer relativ nicht allzulangen Zeit eine Erwärmung statt gefunden haben muss, — ein Process, der allerdings eine Erklärung gewährt und fordert.

Die *Newton*'sche Gravitations-Theorie, welche uns aus der jetzigen Gestalt der Erde ihren ursprünglichen Aggregat-Zustand erkennen lässt, lehrt uns zugleich die Wärmequelle kennen, welche stark genug war, um einen solchen Aggregat-Zustand herbei zu führen, stark genug, um Weltkörper zu schmelzen; sie lehrt uns den feuerflüssigen Zustand eines Planeten als das Resultat der mechanischen Verbindung kosmischer Massen zu betrachten und sie führt somit die Wärme im Bauche der Erde und das Strahlen der Sonne auf einen homogenen Process zurück.

Auch der Rotations-Effect der Erde lässt sich auf eine ungezwungene Weise von dem Zusammenstossen der die Erde constituirenden kosmischen Massen herleiten, und es wäre hiernach die lebendige Kraft dieser Axendrehung vom Gesammt-Effekte des mechanischen Verbindungsprocesses zu subtrahiren, wo dann der Rest die Quantität der entwickelten freien Wärme ausdrücken würde. Inzwischen stellt der Rotations-Effect gegenüber der innern Erdwärme nur eine unerhebliche Grösse dar. Es beträgt nemlich der Rotations-Effect, unter der Annahme einer gleichförmigen Dichtigkeit der Erde, etwa 4400 × T Kilogrammeter (wo wiederum T das Gewicht der Erde in Kilogrammen ausgedrückt bedeutet) welches nicht weiter als 12 × T Wärmeeinheiten äquivalent ist.

Stellt man sich vor, der Mond werde im Laufe der Zeiten durch den Einfluss eines widerstandleistenden Mediums oder durch irgend sonst etwas veranlasst, mit der Erde sich zu vereinigen, so lassen sich zwei

Hauptwirkungen einer solchen Katastrophe unterscheiden. Durch die lebendige Kraft des Zusammenstossens würde die ganze Masse des Mondes und die erkaltete Erdrinde um mehrere tausend Grade erhitzt und die Erde mithin von einem Feuer-Oceane allenthalben umfluthet. Zugleich würde aber auch die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde etwas beschleunigt und die Lage der Erdaxe bezüglich zum Firmamente und zur Erdoberfläche etwas, jedoch nicht bedeutend, verändert. Wäre aber die Erde zuvor kalt und ohne Umdrehung, so würde sie durch den Verbindungsprocess mit dem Monde sowohl Wärme als Rotations-Effect, ihrem dermaligen Zustande conform, erhalten.

Wahrscheinlich haben, bis die Erde zu ihrer jetzigen Grösse herangewachsen war, wiederholte Vereinigungsprocesse statt gefunden, und es mögen zum Theil unbeschreiblich üppige Vegetationen durch solche Massen-Conflicte unter glühendem Schutte begraben worden sein.

So lange die Erdoberfläche noch im Zustande des Glühens sich befunden hatte, musste die Abkühlung in raschem Fortschreiten begriffen gewesen sein; allmälig musste aber die Abkühlungsgeschwindigkeit mehr und mehr abnehmen, und es ist somit klar, dass dieselbe zwar bis auf den heutigen Tag noch nicht ganz aufgehört haben kann, dass sie aber zu einem verhältnissmässig geringen Werthe herabgesunken sein muss.

Durch die Abkühlung der Erde werden zweierlei

Erscheinungen bedingt, die ihrer gemeinschaftlichen Quelle wegen wieder unter sich aufs engste verknüpft sind. Einerseits muss in Folge der Zusammenziehung der erkaltenden Erdschichten die Erd-Oberfläche der Schauplatz vieler Gleichgewichtsstörungen, vieler grossartiger Revolutionen sein und feurig-flüssige Massen müssen mit unermesslicher Gewalt aus der Tiefe zu Gebirgen emporquellen; andererseits muss die Umdrehungsgeschwindigkeit der Kugel nach bekannten Gesetzen der Mechanik in dem Masse wachsen, als das Volumen der Kugel abnimmt, d. h. die Tageslänge muss sich durch die Abkühlung der Erde verkürzen.

Da demzufolge die Stärke der Erderschütterungen und die Grösse der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kugel in engem Zusammenhange steht, so ist klar, dass der Vorzeit eine fortwährend stürmische Umgestaltung der Erdrinde und zugleich eine merkliche Beschleunigung der Axendrehung entspricht, während dass der Jetztzeit eine viel langsamere Metamorphose der Oberfläche und eine sehr geringe Umdrehungsbeschleunigung zukommt.

Versetzen wir uns im Geiste in jene Zeiten zurück, in welchen die Alpen, die Kette der Andes und der Pic von Teneriffa aus der Tiefe gehoben wurden, und vergleichen wir damit die Erderschütterungen und vulkanischen Eruptionen der historischen Zeiten, so sehen wir leicht, dass die neueren Umgestaltungs-Processe nur ein schwaches Abbild früherer analoger Vorgänge sind.

Während wir von bleibenden Denkmälern ehemaliger höchst gewaltsamer vulkanischer Umgestaltungen überall umgeben sind, so fehlt uns dagegen von der Umwälzungsgeschwindigkeit, die unser Planet in den antediluvianischen Zeiten hatte, jede Kunde. Um so wichtiger ist es, eine etwaige Veränderung dieser Umdrehungsgeschwindigkeit oder der Tageslänge im Laufe der historischen Zeiten möglichst genau zu kennen. Eine solche Untersuchung, von dem grossen *Laplace* angestellt, bildet einen Glanzpunkt im Gebiete der exacten Naturforschung.

Bei diesen Berechnungen wird im wesentlichen auf folgende Weise verfahren: zunächst wird der zwischen zwei weit auseinander gelegenen Sonnenfinsternissen befindliche Zeitraum bis auf einen möglichst genauen Bruchtheil nach Tagen gezählt und hieraus das Verhältniss zwischen der Umdrehungszeit der Erde und der mittleren Umlaufszeit des Mondes bestimmt. Vergleicht man sofort die von den ältesten Astronomen hinterlassenen Beobachtungen mit denen der Gegenwart, so lässt sich die geringste Veränderung der absoluten Länge des Tages durch eine Aenderung jenes Verhältnisses oder durch eine Störung des Mondlaufes wahrnehmen. Aus der vollkommen genauen Uebereinstimmung der uns aus alten Zeiten überlieferten Nachrichten über den Mond- und Planetenlauf, über Sonnenfinsternisse u. s. f. hat aber *Laplace* die höchst merkwürdige Thatsache aufgefunden, dass im Laufe von 25 Jahrhunderten die Umdrehungszeit der Erde sich nicht um den fünfhundertsten Theil einer Sexagesimal-

Sekunde verändert hat, mithin die Länge des Sterntages seit den historischen Zeiten als völlig constant zu betrachten ist.

Dieses für die Astronomie ebenso wichtige als bequeme Resultat war nichtsdestoweniger geeignet, den Physikern Verlegenheit zu bereiten. Mit scheinbar gutem Grunde wurde nemlich von dem Constantbleiben der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde unmittelbar auf eine entsprechende Unveränderlichkeit ihres *Volumens* geschlossen. Da die Erde zu einer Umdrehung 86400 Sekunden Sternzeit bedarf, diese Grösse aber seit 2500 Jahren nicht um $\frac{1}{500}$ Sekunde, oder um $\frac{1}{43}$ Millionentheil eines Tages, sich verändert hat, so schien daraus hervorzugehen, dass während dieses ganzen Zeitraumes auch der Erdhalbmesser bis auf diesen Bruchtheil seiner Grösse hin sich gleich geblieben sein müsse. Die Länge des Erdradius beträgt 6 369 800 Meter; demnach sollte die Verkürzung desselben in der angegebenen Zeit keine 15 Centimeter betragen haben.

Die durch die Abkühlung der Erde bedingte Volumensverminderung derselben steht aber mit den Revolutionen auf der Erdoberfläche in nothwendigem Zusammenhange. Wenn man nun erwägt, dass kaum ein Tag vergeht, an welchem nicht da oder dort Erderschütterungen stattfinden, und dass von ungefähr 300 noch thätigen Land-Vulkanen immerwährend einige im Ausbruche begriffen sind, so wird man eine solche ununterbrochen fortdauernde und noch immer lebhafte Reaction des Innern der Erde gegen ihre Rinde mit

einer völligen Unveränderlichkeit ihres Volumens nicht gut vereinbar finden.

Bei diesem Conflicte, in welchen *Cordier's* Theorie von dem Zusammenhange der Abkühlung und der Erschütterung der Erde mit der die Unveränderlichkeit der Tageslänge constatirenden Rechnung von *Laplace* scheinbar gerieth, und bei der unbezweifelbaren Richtigkeit dieser Rechnung, haben sich die meisten Naturforscher veranlasst gesehen, jene Theorie ganz fallen zu lassen, wodurch sie sich aber natürlich jede wissenschaftlich haltbare Erklärung der vulkanischen Erscheinungen abgeschnitten haben.

Eine fortlaufende Abkühlung des Erdkörpers ist ein durch die Naturgesetze bedingter Process, der sich auf keine Weise in Abrede ziehen lässt, da sich die Erde in dieser Beziehung unmöglich anders als irgend eine andere, wenn auch noch so kleine Masse verhalten kann. Die Erde muss unerachtet der ihr von der Sonne zugeführten Wärme so lange eine Abkühlungs-Tendenz besitzen, als die Temperatur in ihrem Innern die mittlere Temperatur ihrer Oberfläche übertrifft. Die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte mittlere Temperatur beträgt aber im Maximum, oder zwischen den Tropen, etwa 28^0 und es vermag also die Sonne der Abkühlungs-Tendenz der Erde ebensowenig das Gleichgewicht zu halten, als die in einem geheizten Zimmer befindliche mässige Wärme eine dort aufgehangene glühende Masse zu hindern vermag, ihre Temperatur mit der der Umgebung auszugleichen.

Viele Erscheinungen, z. B. das Schmelzen des

Gletschereises vom Boden aus, beurkunden diese ununterbrochene Strömung der Erdwärme von innen nach aussen, und es fragt sich jetzt: beträgt der Wärmeverlust, den die Erde seit 20 bis 25 Jahrhunderten erlitten hat, wirklich so wenig, dass der Erdhalbmessser bei einer Länge von mehr als sechs Millionen Meter dadurch noch nicht um $1^1/_2$ Decimeter verkürzt worden ist?

Bei Beantwortung dieser Frage kommen dreierlei Momente in Rechnung: 1) die absolute Wärmemenge, welche die Erde in einer gewissen Zeit, z. B. in einem Tage verliert. 2) Die Wärme-Capacität der ganzen Erdmasse und 3) der Ausdehnungs-Coëfficient dieser Masse für die Wärme.

Da eine directe Messung bei keiner dieser Grössen gestattet ist, so bleibt nichts übrig, als sich mit Schätzungen zu begnügen, die um so eher auf einiges Gewicht Anspruch machen können, je weniger sie zu Gunsten einer vorgefassten Meinung angestellt werden.

Zieht man von dem, was über die *Ausdehnung*, beziehungsweise Zusammenziehung, fester und tropfbar flüssiger Körper durch Wärme oder Kälte bekannt ist, einen Schluss auf die Grösse der linearen Zusammenziehung des Erdkörpers für 1° Temperaturabnahme, so lässt sich diese Grösse nicht wohl kleiner als = $\frac{1}{100\,000}$ annehmen, — eine runde Zahl, bei der wir um so mehr stehen bleiben wollen, als sich auch *Laplace*, *Arago* u. A. derselben bedient haben.

Wird ferner die *Wärme-Capacität* von allen möglichen festen und tropfbarflüssigen Körpern mit der

des Wassers verglichen, so findet man die letztere, *sowohl auf das Gewicht, als auf das Volumen bezogen,* allezeit grösser als die erstere. Selbst die Gasarten fügen sich dieser Regel, mit einziger Ausnahme des Wasserstoffes, dessen Wärme-Capacität, auf das Volumen bezogen, hinter der des Wassers am weitesten zurückbleibt, dagegen auf das Gewicht bezogen dieselbe noch übertrifft. Um nun die durchschnittliche Wärme-Capacität der Erdmasse auf keinen Fall zu klein zu nehmen, soll hier dieselbe, auf das Volumen bezogen, in rundem Verhältnisse der des Wassers gleich gesetzt, oder nach dem Gewichte berechnet, wie oben = 0,184 genommen werden[1].

[1] Sowohl die Wärme-Capacität als auch der Ausdehnungs-Coëfficient der Materien nimmt im allgemeinen mit der Temperatur zu. Da aber in unserer Rechnung diese beiden Grössen in entgegengesetztem Sinne functioniren, so mag es gestattet sein, von dem Einflusse, den die hohe Temperatur der inneren Erde auf diese Zahlen haben muss, hier einfach zu abstrahiren. Denn wenn man geltend machen wollte, dass die Wärme-Capacität der Erdmasse bei der vorhandenen hohen Temperatur 2 oder selbst 3 mal grösser sein könnte, als bei 0 bis 100°, so ist dagegen wieder zu berücksichtigen, dass der Ausdehnungs-Coëfficient $= \frac{1}{100000}$ nur für starre Massen angenommen werden kann, und für diese sogar eine Art von Minimum bildet, bei Flüssigkeiten aber bedeutend grösser ist und z. B. beim Quecksilber zwischen den festen Punkten des Thermometers das sechsfache von der angenommenen Grösse beträgt. Vorzüglich gross ist die Ausdehnung und Zusammenziehung bei denjenigen Temperatur-Graden, bei welchen ein Uebergang von einer Aggregat-Form zu einer anderen statt findet, was bei den in Erstarrung übergehenden Schichten der geschmolzenen Erdmasse noch besonders in Anschlag gebracht werden könnte.

Will man nun nach *Laplace* aus der Unveränderlichkeit der Tageslänge den Schluss ziehen, dass sich seit 2500 Jahren der Erdhalbmesser durch Abkühlung nicht um $1\frac{1}{2}$ Decimeter zusammengezogen haben könne, so muss man nach den vorangeschickten Positionen annehmen, dass die mittlere Temperatur der Erdmasse in der nemlichen Zeit nicht um $\frac{1^0}{430}$ herabgegangen sei.

Der Inhalt der Erde beträgt 2650 Millionen Kubikmeilen. Eine Abkühlung dieser Masse um $\frac{1^0}{430}$ würde also der Abkühlung von 6 150 000 Kubikmeilen Wasser um 1^0 äquivalent sein, was auf den Tag berechnet einen Verlust von 6,74 Wärme Kubikmeilen gibt.

Ueber den Wärmeverlust, den die Erde erleidet, hat *Fourier* Berechnungen angestellt. Dieser berühmte Mathematiker findet unter Zugrundelegung der an vielen Orten festgestellten Beobachtung einer mittleren Temperaturzunahme der Erdkruste von 1^0 C. für 30^m Tiefe, die Wärme, welche die Erde durch einfache Fortleitung durch ihre erstarrte Rinde abgibt, so gross, dass durch dieselbe in 100 Jahren eine 3 Meter dicke, über die Erde verbreitete Eisschichte geschmolzen werden könnte, welches wie vorhin berechnet, auf den Tag 7,7 Wärme-Kubikmeilen, und in 2500 Jahren eine Halbmesserverkürzung von 17 Centimeter gibt.

Hiernach wäre also die Abkühlung der Erde schon gross genug, um bei der Frage nach der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde nicht mehr vernachlässigt werden zu dürfen.

Zugleich erhellt aber, dass man nach *Fourier* nur einen kleinen Theil der Wärme erhält, den die Erde das

Jahr hindurch verliert, denn die von demselben in Rechnung gebrachte einfache Fortleitung der Wärme durch die *terra firma* hindurch ist nicht der einzige Process, durch den eine Abkühlung des Erdkörpers bedingt wird.

Zuerst werde des meteorischen Wassers gedacht, das, so weit es zu einiger Tiefe in den Erdboden eindringt, die dort befindliche Wärme gleichsam auswascht und dadurch zur Abkühlung der Erde beiträgt. Da aber die ganze in einem Tage auf festen Boden fallende meteorische Wassermasse durchschnittlich nicht viel über eine halbe Kubikmeile Wasser angenommen werden kann, so folgt, dass der durch solches Wasser herbeigeführte Wärmeverlust bei vorliegender Rechnung kaum in Betracht kommt und dass insbesondere alle Thermen der Welt zusammengenommen hier nicht im Stande sind, ein erhebliches Gewicht in die Wagschale zu legen.

Viel wichtiger sind die vulkanischen Erscheinungen im engeren Sinne. Denn da die durch die Thätigkeit der feuerspeienden Berge zu Tage geförderte Hitze von der inneren Erdwärme herstammt, so muss in diesen grossartigen Actionen ein wichtiges Moment zur Verminderung des gegebenen Wärme-Fonds der Erde liegen. Es kommen aber hier nicht blos die wahren vulkanischen Ausbrüche in Betracht, die auf der Erde ununterbrochen, bald hier, bald dort, bald an verschiedenen Stellen zugleich, statt finden; auch die in zeitweiliger Ruhe befindlichen Vulkane strömen fortwährend gewaltige Mengen von Wärme aus, welche dem Innern der Erde entzogen werden. Jeder Vulkan

stellt gleichsam eine der Epidermis beraubte, offene Stelle des Erdkörpers dar, wo das Innere an das Licht gekehrt ist und die Wärme desshalb frei entweicht.

Die gesammte Wärmemenge nun, welche durch so zahlreiche Wärme-Fontanellen der Erde entführt wird, darf nicht gering angeschlagen werden. Um für die Schätzung dieser Grösse einigen Anhalt zu bekommen, erinnere man sich, dass ein feuerspeiender Berg auf Island, *Skaptar-Iökul*, im Jahre 1783 binnen sechs Wochen mit seiner Lava eine Strecke von 60 Quadratmeilen Landes im Mittel 200 Meter hoch bedeckt, oder etwa $1^1/_2$ Kubikmeilen Lava ausgeworfen hat. Der Wärmeverlust, den das Innere der Erde durch diese *eine* Eruption eines einzigen Vulkanes erlitten hat, ist bei der hohen Temperatur der flüssigen Lava auf mehr als 1000 Wärme-Kubikmeilen anzuschlagen, und der ganze, aus der Summe aller vulkanischen Processe resultirende jährliche Wärmeverlust muss demzufolge durchschnittlich wohl nach tausenden von Wärme-Kubikmeilen gezählt werden. Diese letztere Zahl zu der nach *Fourier* gefundenen addirt, gibt eine Grösse, die sich offenbar nicht mehr mit der Annahme einer völligen Unveränderlichkeit des Erd-Volumens verträgt.

Bei der Untersuchung über die Abkühlung der Erde kommen aber noch besonders die Verhältnisse des mit Wasser bedeckten Theiles der Erdoberfläche in Betracht. Die Berechnung des Wärmeverlustes der Erde nach *Fourier* gründet sich auf Beobachtungen, welche über die Temperaturzunahme auf der mit Luft bedeckten *terra firma* angestellt wurden. Nun ist aber

die Erde zu mehr als zwei Drittheilen mit Wasser überzogen, und es kann keineswegs *a priori* angenommen werden, dass für dieses grosse Areal der Abkühlungswerth derselbe sei, wie für das feste Land; vielmehr vereinigen sich mehrere Umstände, welche glauben lassen, dass die Abkühlung vom Meeresgrunde aus durchschnittlich bedeutend rascher als auf dem Lande vor sich gehe.

Zuvörderst kommt hier in Betracht, dass der Grund des Meeres seiner Tiefe wegen dem Herde der inneren Erdwärme überhaupt näher liegt, als die Oberfläche des festen Landes, wesshalb die Temperaturzunahme, vom Grunde des Meeres an abwärts gerechnet, wahrscheinlich etwas rascher erfolgt, als auf dem Lande. Sodann ist zu berücksichtigen, dass der ganze Meeresgrund mit einer Lage von eiskaltem Wasser bedeckt ist, das sich beständig von den Polen gegen den Aequator hinzieht, — ein Strom, der sich auch über Sandbänke hinüber wälzt, und nach *v. Humboldt's* treffender Bemerkung die über solchen Untiefen regelmässig herrschende auffallend niedere Temperatur verursacht. Dass nun das Grundwasser des Meeres seiner niederen Temperatur und seiner ausnehmend grossen Wärme-Capacität wegen ohne Vergleich geeigneter ist, dem Boden Wärme zu entführen, als die Atmosphäre, dieses bedarf keiner weiteren Ausführung.

Es fehlt nicht an Wahrnehmungen, welche den grossen Wärmeverlust, den die Erdkugel durch ihre tropfbar-flüssige Bedeckung erleidet, direct beweisen. Zahlreiche Untersuchungen haben nemlich dargethan,

dass auf einer weiten, zwischen Island, Grönland, Norwegen und Spitzbergen gelegenen, von Wallfischfängern viel befahrenen Strecke des nördlichen Porlarmeeres, zwischen 76 bis 80⁰ n. B. und zwischen dem 15⁰ östl. und dem 15⁰ westl. Länge v. Gr., die Temperatur des Seewassers statt nach der allgemeinen Regel und den hydrostatischen Gesetzen gemäss mit der Tiefe abzunehmen, mit derselben vielmehr wächst. So fand z. B. *Franklin* unter dem 77⁰ n. B. und 12⁰ östl. L. die Temperatur auf der Meeresoberfläche $= -\frac{1^0}{2}$, in einer Tiefe von 700 Faden $= + 6^0$; *Fischer* fand unter 80⁰ n. B. und 11⁰ östl. L. auf der Oberfläche 0⁰ in einer Tiefe von 140 Faden $+ 8^0$ u. s. w.

Da das Seewasser nicht wie das süsse Wasser seine grösste Dichtigkeit über dem Gefrierpunkte besitzt, und da ferner das Wasser unter dem 80sten Grade n. B. in einiger Tiefe wärmer gefunden wird, als 10 Grade südlicher in gleicher Tiefe, so lässt sich dieses merkwürdige Phänomen der mit der Tiefe zunehmenden Temperatur jener Gewässer auf keine Weise anders als durch eine vom Grunde ausgehende Erwärmung des Meerwassers erklären. Die Wärmemenge aber, welche dazu erforderlich ist, um das Meerwasser in einer Ausdehnung von mehr als tausend Quadrat-Meilen von unten herauf auf eine merkliche Weise zu erwärmen, muss sich auch nach der geringsten Schätzung Tag für Tag auf mehrere Wärme-Kubikmeilen belaufen.

Die nemliche Erscheinung der mit der Tiefe zunehmenden Temperatur des Wassers wurde auch in einigen andern Weltgegenden wahrgenommen; so an

der Westküste Neuhollands, im adriatischen Meerbusen, im Lago Maggiore u. s. w. Insbesondere verdient noch die Angabe *von Horner's* hier Erwähnung, dass im mächtigen Golfstrome an der Küste von Amerika das aus 80 bis 100 Faden Tiefe heraufgezogene Senkblei über die Siedhitze des Wassers warm zu sein pflege.

Die angeführten Thatsachen, denen noch verschiedene andere hinzugefügt werden könnten, lassen zur Genüge erkennen, dass der Wärmeverlust, den die Erde seit den letzten 2500 Jahren erlitten hat, viel zu bedeutend ist, um in seinem Einflusse auf die Axendrehung unseres Planeten als verschwindend klein betrachtet werden zu können. Warum aber dieser beschleunigenden Ursache unerachtet die Tageslänge seit den ältesten Zeiten sich nicht vermindert hat, davon liegt der Grund einfach darin, dass die aus der Abkühlung der Erde resultirende Rotations-Beschleunigung durch einen entgegengesetzten, verzögernden Einfluss wieder aufgehoben wird. Dieser letztere besteht, wie im vorigen Capitel auseinandergesetzt wurde, in der Anziehung von Mond und Sonne auf die flüssige Oberfläche der rotirenden Erde.

Halten wir uns wieder an die im vorigen Capitel gegebene Schätzung und Berechnung, nach welcher die dem verzögernden Druck der Ebbe und Fluth entsprechende Verlängerung des Sterntages in den letzten 2500 Jahren circa $\frac{1}{16}$ Sek. beträgt, so ergibt sich aus der constant gebliebenen Tageslänge, oder dem obwaltenden Gleichgewichtszustande, für die Abkühlung ein ebenso grosser Verkürzungswerth des Sterntages. Diesem

letzteren entspricht eine Verkleinerung des Erdhalbmessers um $4^1/_2$ Meter (in 2500 J.) und ein täglicher Wärmeverlust von 200 Wärme-Kubikmeilen. Die Temperatur-Verminderung der ganzen Erdmasse aber würde hiernach in diesem Zeitraume $\frac{1^0}{14}$ C. betragen haben.

Diese nicht unbeträchtliche Zusammenziehung des Erdkörpers stimmt mit den unaufhörlich stattfindenden Umänderungen der Erdoberfläche, den Erdbeben und vulkanischen Eruptionen überein, so dass wir diese Naturerscheinungen mit *Cordier*, diesem fleissigen Beobachter vulkanischer Processe, als nothwendiges Resultat der fortdauernden Abkühlung der in ihrem Innern feurig-flüssigen Erde betrachten. —

In den frühesten Zeiten des Erdlebens musste die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde wegen der raschen Abkühlung dieser damals auch auf der Oberfläche glühenden Kugel in einer merklichen Zunahme begriffen gewesen sein. Diese Beschleunigungsursache tritt aber allmählig mehr und mehr zurück, so dass der sehr nahe gleichförmig anhaltende verzögernde Druck von Ebbe und Fluth mit der Zeit das Uebergewicht bekommt, von wo an dann die Umdrehungsgeschwindigkeit sich fort und fort wieder vermindert. Zwischen der Zunahme und der Abnahme liegt aber eine Periode des Stillstandes oder des Gleichgewichtes der entgegengesetzten Einwirkungen, und so lässt sich mithin das ganze Erdleben in drei Perioden eintheilen: in die Jugend mit wachsender —, in das mittlere Alter mit gleichbleibender —, und in das höhere Alter mit abnehmender Umdrehungsgeschwindigkeit.

Mathematisch streng genommen kann das Gleichgewicht der auf die Erdrotation entgegengesetzt influirenden Momente nur während eines ganz kurzen Zeitpunktes andauern, soferne den Augenblick vorher die Abkühlung, den Augenblick später die Ebbe und Fluth überwiegt. In physischem Sinne aber, oder nach menschlichem Maasstabe gemessen, ist der Einfluss der Abkühlung und noch mehr der von Ebbe und Fluth für einen sehr grossen Zeitraum als völlig constant zu betrachten, so dass es also auch eine durch viele Jahrtausende hindurchgehende Periode geben muss, in welcher das Verhältniss der Gleichheit beider Einwirkungen nicht der geringsten wahrnehmbaren Veränderung unterworfen ist. In diesem Zeitraume hat der Sterntag seine kürzeste Dauer, oder die Rotations-Geschwindigkeit der Erde ihr Maximum erreicht, — ein Umstand, der nach den Gesetzen der Analysis dazu beiträgt, die Dauer dieser mittleren Periode des Erdlebens zu verlängern.

In die Periode der unveränderlichen Rotations-Geschwindigkeit fallen, wie aus der angeführten Berechnung von *Laplace* hervorgeht, die historischen Zeiten der Menschheit. Ob wir uns aber dermalen noch im Anfange, ob in der Mitte, oder am Schlusse dieser Periode befinden, diess zu entscheiden fehlen uns die Anhaltspunkte, und wir müssen daher die Beantwortung dieser Frage kommenden Geschlechtern überlassen. [1]

[1] Diese Frage hat bekanntlich in jüngster Zeit schon ihre Antwort gefunden.

Die fortschreitende Abkühlung der Erde kann nicht ohne Einfluss auf die Temperatur ihrer Oberfläche, auf das Klima, sein, und es haben sogar Naturforscher, *Büffon* an der Spitze, die Vermuthung geäussert, das Klima unseres Planeten werde sich mit der Zeit, der zunehmenden Erkaltung der inneren Erde halber, bis zur völligen Erstarrung alles Lebens verschlimmern. Allein eine solche Befürchtung ist offenbar ganz unbegründet, da der Temperaturzustand der Erdoberfläche schon jetzt im allgemeinen weit mehr von dem Strahlen der Sonne, als von der aus der Tiefe aufsteigenden Wärme abhängt. Nach *Pouillet's* Messungen (siehe oben Cap. III.) erhält nemlich die Erde von der Sonne täglich 8000 Wärme-Kubikmeilen, wogegen die aus dem Innern der Erde auf die Oberfläche gelangende Wärme etwa auf 200 Wärme-Kubikmeilen per Tag geschätzt werden mag. Hieraus ergibt sich, dass die der Erdoberfläche von unten zufliessende Wärme der Sonnenwärme gegenüber zwar keineswegs als verschwindend klein zu betrachten ist, dass sie aber doch derselben quantitativ weit nachsteht.

Denkt man sich bei constant andauerndem Strahlen der Sonne die untere Wärmezufuhr vermindert oder abgeschnitten, so müssen daraus mancherlei Veränderungen in der physischen Beschaffenheit der Erdoberfläche resultiren. Die Temperatur der Thermen wird allmählig bis auf die mittlere des Bodens herabgehen, die vulkanischen Eruptionen werden nach und nach erlöschen, die Erderschütterungen werden nicht mehr sein, und die Wärme des Meerwassers wird an manchen

Orten eine merkliche Verminderung erfahren, woraus sich ohne Zweifel wichtige Veränderungen in den climatischen Verhältnissen vieler Länder ergeben müssen. Insbesondere steht zu vermuthen, dass in dem bis jetzt so sehr bevorzugten westlichen Europa ein Wärmeausfall sich zu erkennen geben wird, so dass vielleicht der wärmere Theil von Nord-Amerika zum dereinstigen Stützpunkte der Macht und Cultur unseres Geschlechtes bestimmt ist.

Sei dem aber wie ihm wolle, so lässt sich mindestens für die nächstkommenden Jahrtausende keine Temperatur-Verminderung der Erdoberfläche, durch Abkühlen der inneren Erdmasse herbeigeführt, voraussehen, wie denn auch in der Vergangenheit, soweit geschichtliche Urkunden zurückreichen, in den klimatischen Verhältnissen der Länder, in der Temperatur der Thermen, in der Stärke und Häufigkeit der vulkanischen Actionen und der Erdbeben sich nichts wesentlich geändert hat.

Anders verhält es sich mit den sog. vorweltlichen Zeiten, aus denen uns zahlreiche Beweise hinterblieben sind, dass während langer Jahrhunderte der Erdboden durch unterirdisches Feuer erwärmt einem Treibhause geglichen habe, wo in den jetzt ganz unwirthlich gewordenen Polarländern riesengrosse pflanzenfressende Thiere ihre Nahrung suchten und fanden, und baumartige Farnkräuter und tropische Schaalthiere, deren Ueberreste uns namentlich in den Steinkohlenlagern aufbewahrt sind, aller Orten zu Hause waren.

Bemerkungen

über das

Mechanische Aequivalent der Wärme.

Vorwort.

Durch die Auffindung des zwischen der Wärme und der Bewegung bestehenden Zusammenhanges gewinnt die Lehre von den Imponderabilien, welche bisher an zahlreichen Verwicklungen und Unklarheiten gelitten hat, eine einfachere Gestaltung, und es wird desshalb auch vorliegende populäre Abhandlung den Freunden einer exacten Naturanschauung willkommen sein. —

Warum ich mir bei meiner Stellung als praktischer Arzt in dieser wichtigen Sache mitzureden erlaubt habe, davon ist der Grund in der Schrift selbst angegeben. —

Mögen Sachverständige, welche die Schwierigkeiten kennen, mit denen man beim Bebauen eines neuen Feldes zu kämpfen hat, den Mängeln meiner Arbeiten eine nachsichtige Beurtheilung angedeihen lassen! Ars longa, vita brevis. —

Heilbronn, im Christmonat 1850.

Der Verfasser.

Das grossartige und weitläufige Gebäude der Erfahrungswissenschaften ist auf einer kleinen Anzahl von Pfeilern errichtet.

Wie die Geschichte lehrt, so hat es Jahrtausende bedurft, bis es dem suchenden Geiste des Menschen gelungen ist, die Grundlagen der Wissenschaften zu finden, auf denen dann in verhältnissmässig kurzer Zeit der Hochbau aufgeführt wurde.

Und doch sind eben diese Fundamental-Sätze von solch' einfacher Klarheit, dass ihre Entdeckung in mehr als einer Beziehung an das Ei des Columbus erinnert.

Wenn wir aber jetzt, wo wir einmal im Besitze der Wahrheit sind, von einer Methode sprechen wollen, durch deren Anwendung die nöthigsten Grundgesetze ohne Zeitverlust hätten aufgefunden werden können, so soll damit keineswegs an die Bestrebungen und Leistungen unserer Vorfahren der Massstab einer leichten Kritik angelegt werden, sondern es wird damit nur beabsichtigt, einen der neuesten Zeit angehörigen Zuwachs unseres Wissens dem Leser auf heuristische Weise vorzuführen.

Die wichtigste, um nicht zu sagen einzige Regel für die ächte Naturforschung ist die: eingedenk zu bleiben, dass es unsere Aufgabe ist, die Erscheinungen kennen zu lernen, bevor wir nach Erklärungen suchen oder nach höheren Ursachen fragen mögen. Ist einmal eine Thatsache nach allen ihren Seiten hin bekannt, so ist sie eben damit erklärt und die Aufgabe der Wissenschaft ist beendigt.

Mag auch dieser Ausspruch von Einigen für trivial erklärt, von Anderen mit noch so vielen Gründen bekämpft werden, so bleibt doch gewiss, dass diese Grundregel bis auf die neueste Zeit herab nur allzuoft vernachlässigt wird, dass aber alle speculative Operationen selbst der glänzendsten geistigen Capacitäten, die statt von den Thatsachen als solchen Besitz zu ergreifen, sich über dieselben erheben wollten, bis jetzt nur taube Früchte getragen haben.

Von der neueren Naturphilosophie, die durch die ephemere Existenz ihrer Geburten das Urtheil schon in der Gegenwart empfangen hat, soll hier nicht weiter die Rede sein. Im Alterthume hat selbst der grösste und verdienstvollste Naturforscher, um z. B. die Eigenschaften des Hebels zu erklären, seine Zuflucht zu dem Ausspruche genommen: der Kreis sei ein so wunderbares Ding, dass es wohl zu begreifen sei, wie die im Kreise erfolgenden Bewegungen auch ihrerseits die wundervollsten Erscheinungen darbieten! Hätte Aristoteles, statt sein ausserordentliches Talent zu Meditationen über den feststehenden Punkt und die fortschreitende Linie — wie er den Kreis nennt — anzu-

strengen, die Zahlenverhältnisse untersucht, welche zwischen der Länge der Hebelarme und dem ausgeübten Drucke stattfinden, so hätte er dadurch den Grundstein zu einem wichtigen Theile des menschlichen Wissens gelegt.

Solche Missgriffe, wie sie dem Geiste der damaligen Zeit gemäss auch von einem Manne begangen wurden, der sich durch viele wirkliche Verdienste ein ewiges Denkmal gesetzt hat, können uns den entgegengesetzten Weg, der sicher zum Ziele führt, zeigen. Wenn aber auch bei der richtigsten Forschungs-Methode ohne Mühe und Fleiss dennoch nichts erreicht werden kann, so ist diess in der göttlichen Weltordnung begründet, nach welcher der Mensch zum Arbeiten erschaffen ist. Gewiss aber ist schon unendlich mehr Material und mehr Mühe dem Irrthume zum Opfer gebracht worden, als die Wahrheit zu ihrer Auffindung bedarf.

Die Regel, nach welcher verfahren werden musste, um die Fundamente der Naturkunde in der denkbar kürzesten Zeit zu legen, lässt sich in wenige Worte fassen. Es müssen nemlich die nächstliegenden und häufigsten Naturerscheinungen mittelst der Sinnwerkzeuge einer sorgfältigen Untersuchung unterworfen werden, die so lange fortzuführen ist, bis aus ihr Grössenbestimmungen, die sich durch Zahlen ausdrücken lassen, hervorgegangen sind.

Diese Zahlen sind die gesuchten Fundamente einer exacten Naturforschung.

Unter allen Natur-Processen ist der freie Fall eines Gewichtes der häufigste, der einfachste und —

man denke an *Newton's* Apfel! — zugleich der wichtigste. Wenn man diesen Vorgang auf die angegebene Weise analysirt, so wird man alsbald gewahr, dass das Gewicht um so stärker auf den Boden aufschlägt, je höher es herabgefallen ist, und die Aufgabe besteht nun darin, die zwischen der Fallhöhe, der Fallzeit und der Endgeschwindigkeit stattfindenden Grössenbeziehungen aufzufinden und in bestimmten Zahlen auszudrücken.

Bei Ausführung dieser Experimental-Untersuchung wird man mit verschiedenen Schwierigkeiten zu kämpfen haben; allein diese müssen und können überwunden werden, und dann gelangt man zu der Wahrheit, dass bei jedem Körper eine Fallhöhe von beiläufig 15′, oder eine Fallzeit von einer Sekunde einer Endgeschwindigkeit von 30′ per Sekunde entspricht.

Eine zweite, den Fallgesetzen scheinbar zuwiderlaufende, alltägliche Erscheinung ist das Aufsteigen von Flüssigkeiten in Röhren beim Saugen. Auch hier gilt es wieder, sich nicht durch das *velle rerum cognoscere causas* zu nutzlosen und also schädlichen Speculationen über die Qualitäten des Vacuums u. d. gl. in die Irre führen zu lassen; vielmehr müssen wir abermals die Erscheinung als solche mit Aufmerksamkeit und offenen Sinnen untersuchen, und finden dann, sobald wir nur eine Röhre an den Mund setzen, um eine Flüssigkeit zu heben, dass diese Operation von Anfang ganz leicht, dann aber bei grösserer Höhe der Flüssigkeitssäule mit rasch zunehmender Schwierigkeit auszuführen ist. Sollte etwa die Saugwirkung eine messbare Grenze haben? —

Sobald wir einmal anfangen, in dieser Richtung zu experimentiren, so kann es uns nicht mehr entgehen, dass es eine Barometer-Höhe gibt, und dass diese circa 28" beträgt. Diese Zahl ist ein zweiter Hauptpfeiler im Gebäude des menschlichen Wissens.

Nun reiht sich Frage an Frage, und Antwort an Antwort. Wir haben gelernt, dass der von einer Flüssigkeitssäule ausgeübte Druck proportional ist der Säulenhöhe und dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit; hiernach haben wir das specifische Gewicht der Atmosphäre bestimmt und sind durch diese Untersuchung veranlasst worden, unser Messwerkzeug, das Barometer, von der Ebene auf Berge zu tragen, und den Einfluss, den die Erhebung über den Meeresspiegel auf den Stand der Quecksilbersäule ausübt, in Zahlen auszudrücken. Durch solche Arbeiten wird uns die Frage nahe gelegt, ob nicht auch die Gesetze des freien Falles, die wir an der Erdoberfläche kennen gelernt haben, in grösseren Entfernungen vom Boden eine Abänderung erleiden? Und wenn, was wir von vorn herein nicht anders erwarten können, dieses wirklich der Fall ist, so fragt es sich weiter, in welcher Weise die oben gefundenen Zahlen durch die Entfernung von der Erde modificirt werden?

Hier sind wir bei einer Aufgabe angelangt, deren Auflösung mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist. Denn es gilt jetzt, an Orten, die kein menschlicher Fuss zu betreten vermag, Beobachtungen anzustellen und Messungen vorzunehmen. Die Geschichte lehrt aber, dass derselbe Mann, der die Frage gestellt hat,

auch im Stande gewesen ist, die Antwort zu geben. Freilich konnte er dazu nur durch einen reichen Schatz astronomischer Kenntnisse befähigt werden. Wie aber sollen wir diese erlangen?

Die Astronomie ist ohne Frage schon in ihren Anfangsgründen die schwierigste aller Wissenschaften. Wir haben es hier mit Gegenständen und Räumen zu thun, die jeden Gedanken an ein Experiment verbieten, und dabei sind die verschiedenartigen Bewegungen der zahllosen Himmelskörper so verwickelter Natur, dass die Sternkunde in ihrer herrlichen Entfaltung als der höchste Triumph, den der menschliche Geist hinieden zu feiern vermochte, mit Recht betrachtet wird.

Der natürlichen Regel gemäss, dass der Mensch, wie im Einzelnen so auch im Ganzen, mit dem Leichteren beginnend stufenweise zum Schwereren fortzuschreiten hat, sollte man wohl erwarten, dass die Astronomie später als alle anderen Zweige des menschlichen Wissens eine gedeihliche Entwicklung gefunden habe. Bekanntlich verhält sich aber die Sache in der Wirklichkeit umgekehrt, indem gerade in der Astronomie und nur in dieser, schon die frühesten Völker sich wirklich gute Kenntnisse erworben haben. Ja es darf wohl behauptet werden, dass die Sternkunde diejenige Stufe der Vollkommenheit im Alterthume erreicht hat, die bei dem damaligen Fehlen aller Hilfswissenschaften überhaupt zu erreichen war.

Diese früheintretende, lebenskräftige Entwicklung der Astronomie, die ihrerseits wieder den anderen Wissenschaften vorangehen musste, da sie allein das

zu Zeitmessungen nothwendige Material zu liefern vermochte, nehmen wir bei den verschiedensten Völkerstämmen wahr, und es ist dieselbe auch im Wesen der Dinge und in der Natur des menschlichen Geistes begründet. Sie liefert einen merkwürdigen Beleg dafür, dass eine richtige Methodik Hauptbedingung ist für eine gedeihliche wissenschaftliche Forschung.

Der Grund der Erscheinung liegt aber darin, dass das schon sehr frühe empfundene Bedürfniss einer bürgerlichen Zeitrechnung zur Anstellung solcher Beobachtungen nöthigen musste, deren Resultate in bestimmten Zahlen ihren Ausdruck finden. Das Bedürfniss war vorhanden, die Zeit, in welcher die Sonne ihre Wanderung durch den Fixsternhimmel vollbringt, sowie die Zeit, in welcher der Mond seine Phasen durchläuft u. s. w. zu bestimmen. Um diesen Bedürfnissen zu entsprechen, war man nicht der Versuchung ausgesetzt, nach Art der Exegeten und Recensenten das Buch der Natur in die Hand zu nehmen, nur um es zu glossiren.

„Mit eitler Rede wird hier nichts geschafft.“

Zahlen waren es, die man suchte, und Zahlen, die man fand. Durch die überwältigende Macht der Umstände wurde der forschende Geist in die rechte Bahn gedrängt und auf dieser sofort von Erfolg zu Erfolg geführt.

Nachdem nun durch lange fortgesetzte, gute und glückliche Beobachtungen die nöthigen Kenntnisse über den Lauf und die Entfernung der nächsten Himmelskörper, sowie über die Gestalt und Grösse der

Erde erworben worden sind, so sind wir in den Stand gesetzt, die Frage, welchen numerischen Einfluss eine zunehmende Entfernung von der Erde auf die bekannten Fallgesetze ausübt, zu behandeln, und so gelangen wir zu der folgewichtigen Entdeckung, dass in der Höhe von einem Erdhalbmesser der Fallraum und die Endgeschwindigkeit für die erste Sekunde viermal kleiner ist, als am Erdboden.

Kehren wir Behufs der Fortsetzung unserer Untersuchungen zu unserer unmittelbaren Umgebung zurück. — Von jeher mussten die Verbrennungserscheinungen die Aufmerksamkeit der Menschen in besonderem Grade in Anspruch nehmen. Um sie zu erklären, stellten die Alten ihrer naturphilosophischen Methode gemäss ein besonderes, nach oben strebendes Feuerelement auf, das im Bunde mit — und im Gegensatze zu der Luft, dem Wasser und der Erde alles Vorhandene constituiren sollte. Die nothwendige Folge dieser von ihnen mit dem grössten Scharfsinne behandelten Theorie war, dass sie über die betreffenden Erscheinungen und über Alles, was damit zusammenhängt — in vollkommener Unwissenheit geblieben sind.

Auch hier sind es Grössenbestimmungen, Zahlen allein sind es, die uns den Ariadne-Faden in die Hand geben. Wollen wir erfahren, was bei den Feuer-Erscheinungen vorgeht, so müssen wir die Stoffe vor und nach ihrer Verbrennung wägen, wobei uns die Kenntnisse zu statten kommen, die wir uns oben von dem Gewichte luftförmiger Körper erworben haben. Wir finden dann, dass bei jeder Verbrennung verschieden-

artige, zuvor getrennt bestehende Stoffe nach bestimmten Gewichtsverhältnissen in eine innige Verbindung mit einander treten und dass das Gesammtgewicht der Stoffe vor und nach der Vereinigung gleich geblieben ist. Wir lernen die Stoffe in ihren getrennten und in ihren verbundenen Zuständen kennen, wir lernen sie von einem dieser Zustände in den anderen überführen und erfahren, dass z. B. das Wasser aus zwei Luftarten zusammengesetzt ist, die sich nach den Verhältnisszahlen = 1 : 8 mit einander verbinden. Dadurch ist uns der Eingang in die Scheidekunst erschlossen, und die Stöchiometrie hängt als eine reife Frucht vor uns.

Im weiteren Verlaufe unserer Untersuchung haben wir gelernt, dass bei allen chemischen Processen — Verbindungen sowohl, als Trennungen — Temperaturveränderungen statt finden, welche je nach den verschiedenen Umständen von der heftigsten Hitze abwärts alle Grade durchlaufen. Wir haben die entwickelte Wärme ihrer Quantität nach bestimmt oder nach Wärmeeinheiten gezählt und sind so in den Besitz des Gesetzes der chemischen Wärmeentwicklung gelangt. Wir wissen aber längst, dass in einer Unzahl von Fällen Wärme auftritt, wo kein chemischer Process statt findet; so namentlich bei jeder Reibung, beim unelastischen Stosse und beim Zusammendrücken luftförmiger Körper.

Was geht nun bei dieser Art von Wärmeentwicklung vor?

Die Geschichte lehrt, dass auch hier die scharfsinnigsten Hypothesen von dem Bestande und der Natur

eines besonderen Wärme„stoffes", von einem bald ruhenden, bald schwingenden „Wärme-Aether", von „Wärme-Atomen", die in den zwischen den Massen-Atomen befindlichen Räumen ihre Rolle spielen sollten, u. s. w., die Aufgabe nicht zu lösen vermocht haben. Und doch ist dieselbe ihrer Natur nach ebenso wunderbar einfach, als die Gesetze des Hebels, über welche sich der Stifter der peripatetischen Philosophie den Kopf vergebens zerbrochen hat.

Nach dem Vorangegangenen kann der Leser nicht im Zweifel darüber sein, was hier zu geschehen hat. Es müssen wieder Grössenbestimmungen vorgenommen, es muss gemessen und gezählt werden.

Wenn wir in dieser Richtung vorgehen und die auf mechanischem Wege entwickelte Wärmemenge, sowie die dazu verbrauchte Arbeitskraft messen, und diese Grössen mit einander vergleichen, so finden wir sofort, dass dieselben in der denkbar einfachsten Beziehung, d. h. in einem unveränderlichen, geraden Verhältnisse zu einander stehen, und dass das nemliche Verhältniss auch statt hat, wenn umgekehrt mit Hilfe der Wärme wieder Arbeitskraft erzeugt wird.

Diese Thatsachen in kurze, klare Worte gefasst, sagen wir: Wärme und Bewegung verwandeln sich in einander.

Wir können und dürfen aber hier noch nicht stehen bleiben. Wir müssen wissen, wie viel Arbeitskraft zur Hervorbringung eines vorgeschriebenen Masses von Wärme erforderlich ist, und umgekehrt. Mit andern Worten: das Gesetz der unveränderlichen Grössen-

beziehung zwischen der Bewegung und der Wärme muss auch numerisch ausgedrückt werden.

Indem wir die Erfahrung hierüber befragen, finden wir, dass die Erwärmung von einem Gewichtstheile Wasser um einen Grad der hunderttheiligen Scale der Erhebung von einem gleichen Gewichtstheile auf ungefähr 1200′ Höhe entspricht.

Diese Zahl ist *das mechanische Aequivalent der Wärme.*

Die Erzeugung der Wärme durch die Reibung und durch andere mechanische Processe ist eine fundamentale Thatsache von so universaler Verbreitung, dass ihre wissenschaftliche Feststellung auch ohne eine vorausgeschickte Aufzählung von Nutzanwendungen dem Naturkundigen als werthvoll erscheinen wird, und es werden daher auch einige geschichtliche Bemerkungen über das Thatsächliche der Auffindung des vorliegenden Grundgesetzes hier wohl am Platze sein.

Im Sommer 1840 machte ich bei Aderlässen, die ich auf Java an neuangekommenen Europäern vornahm, die Beobachtung, dass das aus der Armvene genommene Blut fast ohne Ausnahme eine überraschend hellrothe Färbung zeigte.

Diese Erscheinung fesselte meine volle Aufmerksamkeit. Von der Theorie *Lavoisier's* ausgehend, nach welcher die animalische Wärme das Resultat eines Verbrennungs-Processes ist, betrachtete ich die doppelte Farbenveränderung, welche das Blut in den Haargefässen des kleinen und grossen Kreislaufes erleidet, als ein sinnlich wahrnehmbares Zeichen, als den sicht-

baren Reflex einer mit dem Blute vor sich gehenden Oxydation. Zur Erhaltung einer gleichförmigen Temperatur des menschlichen Körpers muss die Wärmeentwicklung in demselben mit seinem Wärmeverluste, also auch mit der Temperatur des umgebenden Mediums nothwendig in einer Grössenbeziehung stehen, und es muss daher sowohl die Wärme-Produktion und der Oxydations-Process, als auch der Farbenunterschied beider Blutarten im Ganzen in der heissen Zone geringer sein, als in kälteren Gegenden.

Dieser Theorie gemäss und unter Berücksichtigung der hieher gehörigen, bekannten physiologischen Thatsachen hat man das Blut als eine langsam brennende, gährende Flüssigkeit zu betrachten, deren Hauptzweck — die Unterhaltung eines Verbrennungs-Processes — erreicht wird, ohne dass die Blutbestandtheile als solche (d. h. mit Ausnahme der Zersetzungs-Produkte) die Gefässhöhle verlassen und mit den Organen in eine materielle Wechselbeziehung, einen Stoffaustausch, treten. Mit andern Worten heisst dies: die assimilirten Speisen werden ihrem bei Weitem grösseren Theile nach zur Erzielung eines physikalischen Effectes in der Gefässhöhle selbst verbrannt, und nur eine vergleichungsweise geringe Quantität derselben dient dem minderwichtigen Zwecke, mittelbar in die Substanz der Organe selbst einzugehen und das Wachsthum und den Wiederersatz abgenützter Festtheile zu bewirken.

[1] Man vergleiche hierüber auch die interessante Schrift von *Bergmann* „Ueber die Verhältnisse der Wärme Oekonomie der Thiere zu ihrer Grösse." Göttingen 1848.

Wenn nun hieraus folgt, dass überhaupt im Organismus zwischen Einnahme und Ausgabe, oder zwischen Leistung und Verbrauch eine Bilanz zu ziehen ist, so ist es unverkennbar eine Hauptaufgabe für den Physiologen, das Budget seines Untersuchungs-Objectes so genau als immer möglich kennen zu lernen. Der Verbrauch besteht in dem verbrannten Material, die Leistung ist die Wärmeentwicklung. Diese letztere geht aber auf zweierlei Weise vor sich, indem der Thierkörper theils Wärme direct in seinem Inneren entwickelt und durch Mittheilung an seine unmittelbare Umgebung wieder absetzt, theils aber auch vermöge seiner Bewegungs-Apparate die Fähigkeit besitzt, Wärme auf mechanischem Wege, durch Reibung u. dgl., selbst an entfernten Orten zu erzeugen. Nun ist zu wissen nöthig,

ob die direct entwickelte Wärme *allein*, oder ob die *Summe* der auf directem und indirectem Wege entwickelten Wärmemengen auf Rechnung des Verbrennungs-Processes zu bringen ist?

Es ist dies eine in das Fundament der Wissenschaft eingreifende Frage, ohne deren sichere Lösung eine gesunde Entwicklung der betreffenden Doctrin unmöglich ist. Denn was es heisst, principielle Grössenbestimmungen zu vernachlässigen, diess wurde oben schon an verschiedenen Beispielen gezeigt. Kein Menschenwitz ist im Stande, für das, was die Natur bietet, Ersatz zu geben.

Die physiologische Verbrennungs-Theorie geht von

dem Fundamental-Satze aus, dass die Wärmemenge, welche bei der Verbrennung einer gegebenen Materie entsteht, eine unveränderliche, d. h. eine von den die Verbrennung begleitenden Umständen unabhängige Grösse ist, woraus *in specie* gefolgert wird, dass der chemische Effect der Brennstoffe auch durch den Lebens-Process keine Grössen-Veränderung erleidet, oder dass der lebendige Organismus mit all' seinen Räthseln und Wundern nicht Wärme aus Nichts zu erzeugen vermag.

Hält man aber dieses physiologische Axiom fest, so ist damit bereits auch die Antwort auf die gestellte Frage gegeben. Denn wenn man nicht dem Organismus die Fähigkeit der Wärmeerschaffung, die ihm so eben abgesprochen worden, gleich wieder zutheilen will, so kann auch nicht angenommen werden, dass die Summe der von ihm producirten Wärme jemals grösser als der stattfindende chemische Effect ausfallen könne. Es bleibt also der Verbrennungs-Theorie, wenn sie sich nicht von vorn herein selbst aufgeben will, nichts übrig, als anzunehmen: dass die gesammte theils unmittelbar, theils auf mechanischem Wege vom Organismus entwickelte Wärme dem Verbrennungs-Effecte quantitativ entspricht oder gleich ist.

Daraus folgt nun aber mit derselben Nothwendigkeit, dass die vom lebenden Körper erzeugte mechanische Wärme mit der dazu verbrauchten Arbeit in einem unveränderlichen Grössenverhältnisse stehen muss. Denn wenn, je nach der verschiedenen Construction der zur Wärme-

gewinnung dienenden mechanischen Vorrichtungen u. dgl., durch die nämliche Arbeit und bei gleichbleibendem organischem Verbrennungs-Processe verschieden grosse Wärmemengen erzielt werden könnten, so würde ja die producirte Wärme bei einem und demselben Material - Verbrauche bald kleiner bald grösser ausfallen können, was gegen die Annahme ist. Da aber ferner zwischen der mechanischen Leistung des Thierkörpers und zwischen anderen, anorganischen Arbeitsarten kein qualitativer Unterschied besteht,

so ist folglich eine unveränderliche Grössenbeziehung zwischen der Wärme und der Arbeit ein Postulat der physiologischen Verbrennungs - Theorie.

Indem ich im Allgemeinen die angegebene Richtung einhielt, musste ich also nothwendig mein Hauptaugenmerk zuletzt auf den zwischen der Bewegung und der Wärme bestehenden physikalischen Zusammenhang richten, wo mir denn die Existenz des mechanischen Aequivalentes der Wärme nicht verborgen bleiben konnte. Wenn ich aber auch diese Entdeckung nur einem Zufalle verdanke, so ist sie doch mein Eigenthum, und ich stehe nicht an, das Recht des Zuerstkommenden zu behaupten.

Um das Entdeckte gegen Eventualitäten sicher zu stellen, fasste ich das Wesentlichste in einem kurzen Aufsatze zusammen, den ich im Frühjahr 1842 an *Liebig* mit der Bitte um Aufnahme in die Annalen der Chemie und Pharmacie sendete, woselbst man ihn auch im XLII. Bd. S. 233, unter dem Titel „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ findet.

Es war ein günstiger Umstand für mich, dass durch die wohlwollende Aufnahme jenes, mit so tiefer Einsicht begabten Mannes die unscheinbare Arbeit gleich den Eingang in eines der ersten wissenschaftlichen Organe gefunden hat, und ich ergreife die Gelegenheit, dem grossen Naturforscher meinen Dank und meine Verehrung hiemit öffentlich zu bezeugen.

Liebig hatte aber auch selbst schon um diese Zeit, wenn gleich in mehr allgemeinen, so doch in ganz unzweideutigen Ausdrücken auf den zwischen der Wärme und der Bewegung bestehenden Zusammenhang hingewiesen. Namentlich spricht derselbe aus: die von einer Dampfmaschine gelieferte mechanische Wärme sei lediglich auf Rechnung des Verbrennungs-Effectes zu setzen, und es könne dieser letztere dadurch, dass mittelst desselben eine mechanische Leistung, und durch diese wieder Wärme gewonnen werde, keine Vergrösserung erfahren!

Aus diesen, wie auch aus ähnlichen Aeusserungen anderer Naturforscher mag man entnehmen, dass die Wissenschaft in neuester Zeit eine Richtung einzuschlagen angefangen hatte, bei welcher jedenfalls die Existenz des mechanischen Aequivalents der Wärme nicht länger mehr verborgen bleiben konnte.

In dem erwähnten Aufsatze ist das hieher gehörige Naturgesetz auf einige Grundvorstellungen des menschlichen Geistes zurückgeführt worden. Der Satz, dass eine Grösse, die nicht aus Nichts entsteht, auch nicht vernichtet werden kann, ist so einfach und klar, dass gegen seine Richtigkeit wohl so wenig als gegen ein

Axiom der Geometrie etwas Begründetes wird eingewendet werden können, und dürfen wir ihn solange als wahr annehmen, als nicht etwa durch eine unzweifelhaft festgestellte Thatsache das Gegentheil erwiesen ist.

Es ist nun ein Erfahrungssatz, dass sowohl die Bewegung, als die Wärme nur unter dem Aufwande eines messbaren Objectes entsteht, und dass in unzähligen Fällen Bewegung verschwindet, ohne dass dabei etwas anderes als Wärme zum Vorschein kommt. Das aufgestellte Axiom fordert also jetzt, dass die verschwindende Bewegung zu Wärme wird, oder dass mit anderen Worten diese beiden Objecte in einer unveränderlichen Grössenbeziehung mit einander stehen. Die Prüfung dieses Satzes auf dem Erfahrungswege, die Feststellung desselben in allen Einzelfällen, der Nachweis einer zwischen den Denkgesetzen und der objectiven Welt bestehenden vollkommenen Harmonie, ist die interessanteste, aber auch die umfassendste Aufgabe, die sich finden lässt. Was ich mit schwachen Kräften und ohne jegliche Unterstützung und Ermunterung von aussen in dieser Beziehung geleistet, ist freilich wenig, aber — *ultra posse nemo obligatus.*

Ueber den genetischen Zusammenhang der Wärme und der bewegenden Kraft habe ich mich a. a. O. S. 8 so ausgesprochen: „Ist es nun ausgemacht, dass „für die verschwindende Bewegung in vielen Fällen „*(exceptio confirmat regulam)* keine andere Wirkung „gefunden werden kann, als die Wärme, für die entstandene Wärme keine andere Ursache, als die Bewegung, so ziehen wir die Annahme, Wärme entsteht

„aus Bewegung, der Annahme einer Ursache ohne „Wirkung und einer Wirkung ohne Ursache vor, wie „der Chemiker statt Wasserstoff und Sauerstoff ohne „Nachfrage verschwinden, und Wasser auf unerklärte „Weise entstehen zu lassen, einen Zusammenhang „zwischen Wasserstoff und Sauerstoff einer- und Wasser „anderseits statuirt.“

Von hier bis zum Ziele hat man nur noch einen Schritt zu thun. S. 10 heisst es: „Zur Auflösung der „zwischen der Fallkraft“ (d. i. Gewichtserhebung) „und „Bewegung statthabenden Gleichungen musste der Fall„raum für eine bestimmte Zeit, z. B. für die erste „Sekunde durch das Experiment bestimmt werden; „gleichermassen ist zur Auflösung der zwischen der „Fallkraft und Bewegung einer- und der Wärme an„derseits bestehenden Gleichungen die Frage zu beant„worten, wie gross das einer bestimmten Menge von „Fallkraft oder Bewegung entsprechende Wärmequan„tum sei. Z. B. wir müssen ausfindig machen, wie „hoch ein bestimmtes Gewicht über den Erdboden er„hoben werden müsse, dass seine Fallkraft äquivalent „sei der Erwärmung eines gleichen Gewichtes Wasser „von 0° auf 1° C.? Dass eine solche Gleichung wirk„lich in der Natur begründet sei, kann als das *Resumé* „des Bisherigen betrachtet werden.

„Unter Anwendung der aufgestellten Sätze auf „die Wärme- und Volumensverhältnisse der Gasarten „findet man die Senkung einer ein Gas comprimiren„den Quecksilbersäule gleich der durch die Compres„sion entbundenen Wärmemenge, und es ergiebt sich

„hieraus — den Verhältnissexponenten der Capacitäten „der atmosphärischen Luft unter gleichem Drucke und „unter gleichem Volumen = 1,421 gesetzt — dass dem „Herabsinken eines Gewichtstheiles von einer Höhe von „circa 365 Meter die Erwärmung eines gleichen Ge„wichtstheiles Wasser von 0° auf 1° entspreche.“

Es ist klar, dass der Ausdruck „äquivalent“ hier in ganz anderer Bedeutung, als in der Chemie gebraucht ist. Ein Beispiel wird den Unterschied am deutlichsten machen. Wenn eine gleiche Gewichtsmenge Kali das einemal mit Schwefelsäure, das anderemal mit Salpetersäure neutralisirt wird, so nennt man die Zahlen, welche das Verhältniss ausdrücken, in welchem die absoluten Gewichte dieser drei Stoffe zu einander stehen, die Aequivalente dieser letzteren, wobei aber weder an eine quantitative Gleichheit noch an eine Umwandlung der resp. Stoffe zu denken ist.

Diese besondere Bedeutung, welche das Wort „Aequivalent“ in der Chemie hat, hängt wohl damit zusammen, dass es dem Chemiker vergönnt ist, seine Untersuchungs-Objekte nach einem gemeinschaftlichen Masse, dem absoluten Gewichte quantitativ zu bestimmen. Wir wollen aber annehmen, wir könnten die eine Substanz, z. B. das Wasser, nur nach dem Gewichte, eine andere, das wasserbildende oder Knallgas nur nach dem Volumen messen, und wir hätten uns dahin verständigt, als Gewichts-Einheit 1 ℔, als Volumens-Einheit 1 Kubikfuss zu wählen, so würden wir nun zu untersuchen haben, wie viel Kubikfusse Knallgas aus einem Pfunde Wasser erhalten werden, und um-

gekehrt, und diese Zahl, ohne welche sich weder eine Wasserbildung, noch eine Wasserzersetzung berechnen liesse, würden wir passend „das Knallgas-Aequivalent des Wassers“ nennen können.

In diesem letzteren Sinne kann den bekannten Gesetzen der Mechanik gemäss eine gehobene Last das „Aequivalent“ von der Bewegungsgrösse, welche durch das Herabfallen erzielt wird, genannt werden. Um nun diese beiden Objecte, die gehobene und die bewegte Last, welche keine gemeinschaftliche Massbestimmung gestatten, auf einander zu reduciren, dazu ist jene constante Zahl nöthig, die man allgemein mit g bezeichnet; mit dieser Zahl ist aber das mechanische Aequivalent der Wärme, durch welches das zwischen der Wärme und der Bewegung bestehende Verhältniss bestimmt wird, in eine und dieselbe Begriffs-Kategorie zu bringen.

Es ist ferner in der erwähnten Abhandlung der Weg zur Gewinnung eines folgerichtig durchzuführenden und wissenschaftlich haltbaren Begriffes von Kraft angegeben worden, und die Wichtigkeit dieses Gegenstandes veranlasst mich, hier noch einmal auf denselben zurückzukommen.

Das Wort „Kraft“ wird in der wissenschaftlichen oder höheren Mechanik in zwei verschiedenen Bedeutungen gebraucht.

I. Man versteht darunter jeden Druck oder Zug, jedes Bestreben eines trägen Körpers, seinen Zustand der Ruhe oder der Bewegung zu ändern, und wird

dieses Bestreben für sich und unabhängig vom Erfolge betrachtet, „Druckkraft“ „Zugkraft“ „Kraft“ kurzweg, auch zur Unterscheidung von dem folgenden Begriffe, „todte Kraft“ genannt.

II. In einem anderen Sinne heisst „Kraft“ das Product des Druckes in den Wirkungsraum, oder auch das — ganze oder halbe — Product der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit. Es ist nämlich zur Entstehung jeder wirklichen Bewegung nothwendig, dass die resp. Masse unter einem Drucke und in der Richtung eines solchen einen gewissen Raum, „den Wirkungsraum“, durchläuft, und es wird nun die der „Druckkraft“, und dem Wirkungsraum proportionale Grösse ebenfalls „Kraft,“ aber zur Unterscheidung von der blossen „Druckkraft,“ die für sich allein nie eine wirkliche Bewegung zu Stande bringt, „lebendige Kraft der Bewegung“ oder „bewegende Kraft“ genannt.

Mit dem Gattungsbegriffe „Kraft“ beschäftigt sich die höhere Mechanik, als eine wesentlich analytische Wissenschaft, nicht. Um denselben zu finden, müssen nach der allgemeinen Regel die den Arten gemeinschaftlich zukommenden Merkmale zusammengefasst werden. Die Definition, die man auf diese Weise erhält, lautet nun bekanntlich so: „Kraft ist:

„Alles, was eine Bewegung hervorbringt, oder her„vorzubringen strebt, abändert, oder abzuändern strebt.“

Diese Definition ist aber, wie man leicht sieht, eine schwülstige, indem die letzten eilf Wörter derselben gestrichen werden können, ohne dass dadurch der Sinn ein anderer wird.

Dieser Fehler in der Auflösung ist durch die Natur der Aufgabe bedingt, die etwas Unmögliches verlangt. Der blosse Druck (todte Kraft) und das Produkt des Druckes in den Wirkungsraum (lebendige Kraft) sind allzu ungleichartige Grössen, um in einen Gattungsbegriff vereinigt werden zu können. Der Druck, oder die Anziehung, ist in der Bewegungslehre was die Affinität in der Chemie — ein Abstractum; die lebendige Kraft ist, wie die Materie, ein Concretum, und diese beiden Arten der „Kraft“, so nahe sie im Reiche der Ideen-Association beisammen liegen, sind in der Wirklichkeit so weit von einander entfernt, dass der Rahmen, der sie umfasst, die ganze Welt aufzunehmen im Stande wäre.

Eine Abhilfe ist auf mehrfache Weise denkbar. Wie man z. B. von einem absoluten, einem specifischen, einem Mischungs-Gewichte spricht, ohne dass es darum Jemanden einfällt, aus diesen verschiedenen Begriffen einen Gattungs-Begriff bilden zu wollen, ebenso kann auch das Wort „Kraft“ geradezu als ein zwei- und mehrdeutiges gebraucht werden. Es geschieht dies auch wirklich in der höheren Mechanik, und ist daher in dieser Wissenschaft von einem Gattungsbegriffe „Kraft“ nicht die Rede.

An Vorschlägen, die Begriffe der „todten“ und der „lebendigen Kraft“ auf solche Art auch durch die übrige Naturlehre getrennt durchzuführen, hat es nicht gefehlt; allein es haben sich dieselben als unausführbar erwiesen. Denn wenn doppelsinnige Ausdrücke überhaupt nie etwas zur Deutlichkeit beitragen können, so ist ihr Gebrauch da, wo eine Verwechslung möglich

ist, durchaus unstatthaft. Nun läuft freilich der Mathematiker nicht Gefahr, in seinen Rechnungen das Product mit einem seiner Factoren zu verwechseln; allein in anderen Gebieten des Wissens findet in dieser Beziehung eine systematische Begriffsverwirrung statt, und es muss, wenn geholfen werden soll, die Quelle des Irrthums verstopft werden; denn ist das Wort „Kraft“ einmal in doppelsinniger Bedeutung zugelassen, so ist es eine Sisyphus-Arbeit, die Unterscheidung in allen Einzelfällen durchführen zu wollen. Um also zu einem Ziele zu gelangen, müssen wir uns entschliessen, auf eine gemeinschaftliche Benennung der sub I u. II aufgeführten Grössen zu verzichten, und das Wort „Kraft“ entweder ganz zu vermeiden, oder dasselbe nur für eine dieser beiden Kategorieen zu gebrauchen.

In diesem Sinne hat *Newton* den Begriff von Kraft durchgeführt. Er zerlegt bei Auflösung seiner Probleme das Product der Anziehung in den Wirkungsraum in seine zwei Factoren und nennt den ersten derselben „Kraft“.

Dagegen ist aber zu bemerken, dass eine solche Zerlegung des genannten Productes in vielen Fällen nicht ausführbar ist. Nehmen wir z. B. den ganz einfachen Fall, eine anfänglich ruhende Masse M erhalte eine Bewegung mit der (gleichförmigen End-) Geschwindigkeit c, so lässt sich aus den bekannten Grössen M u. c zwar auf die Grösse des Productes der Newton'schen Kraft in den Wirkungsraum, nicht aber auf die Grösse dieser Kraft selbst ein Schluss ziehen.

In der That hat sich auch bald das Bedürf-

niss herausgestellt, dieses Product als ein Ganzes zu behandeln und zu benennen. Man hat demselben ebenfalls den Namen „Kraft“ gegeben, und die in diesem Sinne gebrauchten Ausdrücke „lebendige Kraft der Bewegung“ „bewegende Kraft“ „Arbeitskraft“ „Pferdekraft“ „Muskelkraft“ u. s. w. sind in der Wissenschaft längst eingebürgert.

So glücklich hier die Wahl dieses Wortes in mancher Hinsicht genannt werden darf, so ist doch zu tadeln, dass man einem bereits bestehenden Kunstausdrucke eine neue Bedeutung zugelegt hat, ohne die frühere zugleich ausser Kurs zu setzen, und es ist dieser Formfehler zur Büchse der Pandora geworden, aus der eine babylonische Sprachverwirrung entsprungen ist.

Unter den obwaltenden Umständen ist nun nichts übrig, als entweder der Newton'schen todten, oder der Leibnitz'schen lebendigen Kraft die Benennung „Kraft“ zu entziehen, wobei man aber in jedem Falle mit dem herrschenden Sprachgebrauche in Conflict geräth.

Sind wir aber einmal entschlossen, in unsere Wissenschaft eine logisch richtige Terminologie, auch auf Kosten des uns durch Angewöhnung bequem und theuer gewordenen Bestehenden, einzuführen, so kann die Wahl, die wir dann zwischen I u. II zu treffen haben, nicht lange zweifelhaft bleiben.

Betrachten wir den elementaren Fall, dass eine anfänglich ruhende Masse Bewegung erhält, so geschieht dies, wie bereits gesagt, so, dass diese Masse einen gewissen Druck oder Zug erleidet, und unter demselben einen gewissen Raum, den Wirkungsraum, durchläuft.

Nun ist aber allemal nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Druckgrösse (Newton'sche Kraft) in jedem Punkte des Wirkungsraumes eine andere, und es sind, um diese veränderliche Grösse mit dem Wirkungsraume multipliciren, d. h. um aus der Druckgrösse die Bewegungsgrösse finden zu können, die Hilfsmittel der höheren Mathematik erforderlich.

Daraus folgt aber, dass der Newton'sche Kraftbegriff ausser der Statik, wo der Wirkungsraum null und die Druckgrösse constant ist, nur für die höhere Mechanik passt, und es wäre nun offenbar nicht zweckmässig, den Begriff von „Kraft“ so zu wählen, dass derselbe da, wo die Grundbegriffe doch hauptsächlich hingehören, in der elementaren Bewegungslehre, consequenterweise nicht zu gebrauchen ist.

Ganz verkehrt ist es aber, einen Newtonischen Kraftbegriff, nämlich die Schwere, der elementaren Wissenschaft dadurch gerecht machen zu wollen, dass man eine Haupteigenschaft derselben, ihre Abhängigkeit von der Entfernung, auf die Seite setzt, und diese ungenaue und nach Umständen sehr unrichtige, Galilei'sche Schwere zu einer „Kraft“ macht. Eine solche ideelle, III^te^ Kraft scheint der Mehrzahl Derjenigen, welche über naturwissenschaftliche Gegenstände schreiben, als das Urbild einer „Naturkraft“ vorzuschweben.

Grössenbestimmungen, denen nur eine bedingte und annähernde Gültigkeit zukommt, dürfen zur Aufstellung von Definitionen nicht benützt werden. In der Rechnung wird man freilich ganz richtig einen Bogen, der im Verhältniss zum Halbmesser hinlänglich

klein ist, dem Sinus oder der Tangente gleich setzen; wollte man aber auf ein solches Verhältniss Begriffsbestimmungen gründen, so würde man dadurch den Grund zu Inconsequenzen und Irrthümern legen.

Der Newton'sche Kraftbegriff, nach der gebräuchlichen Methode in das Gebiet der elementaren Wissenschaft verpflanzt, ist aber um nichts besser, als der Begriff einer geradlinigen Curve. Die Newton'sche Kraft, die Anziehung, *in specie* die Schwere g, ist gleich dem Differential-Quotienten aus der Zeit in die Geschwindigkeit; es ist also $g = \frac{dc}{dt}$. Dieser Ausdruck ist vollkommen genau, erfordert aber zu seiner Verständniss und Behandlung die höhere Mathematik. Hingegen kann man freilich, wo es sich um Fallräume handelt, die im Vergleiche zum Erdhalbmesser als verschwindend klein betrachtet werden dürfen, ohne erheblichen Rechnungsfehler der eben genannten Gleichung die abgekürzte und höchst bequeme Form $g = \frac{c}{t}$ geben; mathematisch genau ist aber dieser Ausdruck nie, solange nur der Fallraum überhaupt noch eine berechenbare Grösse ist. Und auf Grund solcher principiell unrichtiger Gleichung werden der empfänglichen Jugend die fehlerhaften Begriffe eingepflanzt: von der Schwere, als einer gleichförmig beschleunigenden (?), der Zeit proportional wirkenden (?), bewegenden (?) Kraft; von einer, der erzeugten Geschwindigkeit einfach proportionalen Kraft (?) u. d. gl. m.!

Gewiss wäre es sehr verdienstlich, wenn die Verfasser physikalischer Lehrbücher diesem Uebelstande

abhelfen und bei ihren Definitionen nur von völlig exacten Grössenbestimmungen ausgehen wollten; denn die elementare Physik in ihrer jetzigen Gestalt ist keine solide Wissenschaft, sondern eine Halbwisserei, deren Grundbegriffe und Lehrsätze man beim Eintreten in die eigentliche, höhere Wissenschaft so schnell als möglich zu vergessen suchen muss.

Hat man einmal durch eine unbefangene Prüfung gefunden, dass es ausser dem Herkommen nichts für — aber vieles gegen sich hat, den sub I aufgeführten Kraftbegriff unter solchem Namen festzuhalten, so ergiebt sich das Uebrige fast von selbst. Den Denkgesetzen, wie dem allgemeinen Sprachgebrauche ist es angemessen, die Entstehung jeder Bewegung mit einem Kraft-*Aufwande* in Verbindung zu bringen. Hienach ist „Kraft“:

Etwas, das bei der Erzeugung der Bewegung aufgewendet wird, und dieses Aufgewendete ist als Ursache der Wirkung, der hervorgebrachten Bewegung, gleich.

Diese Definition entspricht nicht allein den Thatsachen vollkommen, sondern sie schliesst sich auch möglichst dem Bestehenden an, indem sie, wie ich zeigen will, den sub II aufgeführten Kraftbegriff der höheren Mechanik in sich enthält.

Wenn eine anfänglich ruhende Masse, M, während sie unter dem Drucke p (und in der Richtung desselben) den Wirkungsraum s durchläuft, eine Bewegung mit der Geschwindigkeit c erhält, so ist $ps = Mc^2$. Da nun bei der Entstehung jeder Bewegung ein Druck

(oder Zug) und ein Wirkungsraum vorhanden ist, und dabei jedesmal wenigstens der eine dieser Factoren, der Wirkungsraum, verausgabt wird, so folgt daraus, dass eine Bewegung nie anders, als auf Kosten eines solchen Productes ins Leben treten kann. Dieses Product $ps = Mc^2$ nenne ich kurzweg eine „Kraft“.

Der Zusammenhang zwischen Verbrauch und Leistung — beziehungsweise die Erschöpfung der Kraft durch die Wirkung — stellt sich am einfachsten bei den Gravitations-Erscheinungen heraus. Es ist die nothwendige Bedingung jeder Fallbewegung, dass die Schwerpunkte der resp. Massen, der Erde und des fallenden Gewichtes sich näher rücken. Die Annäherung findet aber im Zusammenfallen ihre natürliche Grenze, und es ist also die Erzeugung der Fallbewegung mit einem Verbrauche, beziehungsweise mit der Erschöpfung des gegebenen Fallraumes und eben damit auch des Productes von dem Fallraume und der Anziehung, verknüpft. Das Fallen eines Gewichtes auf die Erde herab ist ein mechanischer Verbindungs-Process; gerade wie nun bei der Verbrennung die Leistungsfähigkeit (d. h. die Bedingung der Wärmeentwicklung) mit der erfolgten Verbindung zu Ende ist, so hört auch mit dem Herabfallen des Gewichtes die Bewegungs-Production auf. Das auf dem festen Erdboden liegende Gewicht ist, wie die gebildete Kohlensäure, nichts weiter als ein *caput mortuum.* Die Affinität, die mechanische wie die chemische, besteht zwar auch nach der Vereinigung fort und setzt der Reduction einen bestimmten Widerstand entgegen; die

Leistungsfähigkeit aber ist zu Ende, wenn kein disponibler Fallraum mehr vorhanden ist.

Wo die Anziehung verschwindend klein oder null ist, da ist der Raum kein Wirkungsraum mehr, und es folgt also aus der Abnahme, welche die Schwere in der Entfernung erleidet, dass der Fallraum auch in centrifugaler Richtung eine Grenze hat, und dass mithin die Bewegungsursache, oder die „Kraft“ unter allen Umständen eine endliche, durch ihre Wirkung zu erschöpfende Grösse ist.

Diese physikalische Grundwahrheit wird sich an einem speciellen Falle und durch Zahlen am deutlichsten nachweisen lassen. Wenn ein Pfundgewicht 1′ hoch über den Erdboden erhoben ist, so ist die disponible Kraft bekanntlich = 1 Fusspfund. Beträgt die Fallhöhe dieses Gewichtes n Fusse, so kann, wenn n keine grosse Zahl ist, die Kraft annähernd $= n$ Fusspfunde gesetzt werden. Wird aber n oder die anfängliche Entfernung des Gewichtes von der Erde, zu einer sehr bedeutenden, beziehungsweise zu einer unendlichen Grösse, so wird dadurch keineswegs die Kraft, (d. h. die Anzahl der Fusspfunde) eine unendliche, sondern sie wird dem Newton'schen Gravitations-Gesetze gemäss höchstens $= r$ Fusspfunde, wo r die Anzahl der Fusse, die der Erdhalbmesser hat, bedeutet. Wie gross also auch der Fallraum und die Fallzeit sein mag, so kann ein Gewicht durch Fallen gegen die Erde keine grössere Endgeschwindigkeit erlangen, als die von 34450 par. Fuss per. Sek. Würde dagegen die Erde bei gleichem Volumen 4mal mehr Masse enthalten, so wäre auch

die Kraft die 4fache, und die Maximal-Geschwindigkeit wäre = 68900 Fuss.

Durch eine gute Terminologie müssen fundamentale Thatsachen solcher Art in's Licht gestellt werden; die gebräuchliche Nomenclatur thut aber davon das Gegentheil. Zum Belege dafür mögen einige Aeusserungen dienen, welche von einem sehr verdienten Naturforscher meiner Auffassungsweise entgegengestellt worden sind.

„Wenn es vollkommen wahr ist" sagt derselbe „dass in der Natur keine Bewegung vernichtet werden „kann, oder dass, wie man sich ausdrückt, das Quan„tum der einmal vorhandenen Bewegung unverkümmert „und unvermindert bleibt, und wenn in diesem Sinne „auch jeder abgeleiteten Ursache der Charakter der „Unzerstörlichkeit zukömmt, so gehört zu den Charak„teren einer primitiven Ursache, d. h. einer wahren „physischen Kraft, noch das Merkmal der Unerschöpf„lichkeit. Am besten werden sich diese Merkmale „durch die nähere Betrachtung der Schwere entwickeln „lassen, welche die thätigste und am weitesten ver„breitete Naturkraft (primitive Ursache) ist, gleichsam „die Weltseele, welche das Leben der grossen Massen, „von deren Bewegungen die Ordnung des Alls abhängt, „unzerstörbar und unerschöpflich unterhält, ohne dass „sie von aussen irgend einer Nahrung bedarf, die ihre „Thätigkeit immer wieder anfacht."

Soll in diesen Worten ein materieller Widerspruch gegen meine Aufstellung enthalten sein, so muss durch dieselben gesagt werden wollen, dass die Erd-

anziehung vermöge ihrer Unerschöpflichkeit unter denkbaren Umständen im Stande sei, einem Gewichte eine unendlich grosse Fallgeschwindigkeit zu ertheilen. Gegen eine solche bestimmte Auffassung legt aber unser Schriftsteller selbst wieder an mehreren Stellen ein (allerdings begründetes) Misstrauen an den Tag, indem er u. a. sagt:

„Wenn wir die Verkettung der Ursachen und „Wirkungen bis zu ihren ersten Anfängen verfolgen, so „gelangen wir erst zu den wahren Kräften der Natur, „zu den primitiven Ursachen, die zu ihrer Thätigkeit „keine andere erfordern, die ihnen vorangeht, die keine „Nahrung erheischen, die gleichsam aus einem uner„schöpflichen Grunde Bewegungen immer wieder neu „anfachen und vorhandene unterhalten und beschleu„nigen. können.“ Ferner:

„Wenn der Mond jeden Augenblick doch eine ge„wisse Strecke wenigstens virtuell gegen die Erde fällt, „welches ist die Kraft, die ihn in jedem folgenden „Augenblick gleichsam von derselben entfernt hat, um „eine neue Fallkraft hervorzurufen? Gerade die Un„zerstörbarkeit und Unerschöpflichkeit, das Vermögen „zu allen Zeiten und unter allen Umständen wenig„stens virtuell dieselbe Wirkung unerschöpflich hervor„zubringen, macht das Wesen jeder wahren Kraft gleich „primitiver Ursache aus.“

Dieses im entscheidenden Augenblicke jedesmal dazwischentretende „gleichsam“ und „wenigstens virtuell“ gibt der Auslegung Raum, dass unser Schriftsteller seinen „wahren Naturkräften“ die Fähigkeit

selbst nicht recht zutraut, eine unerschöpfliche Menge von Bewegung, (von actueller Kraftäusserung) hervorbringen zu können, und das Unbestimmte dieser Aeusserungen ist überhaupt bezeichnend für die Proteus-Rolle, welche die Schwerkraft in den naturwissenschaftlichen Schriften spielt. Man gibt diesem Worte die willkürlichsten Auslegungen, und sucht sich, wo es die Thatsachen nicht mehr anders zulassen, wieder auf den Newton'schen Begriff zurückzuziehen.

Indem man die Schwere eine Kraft nennt, und zugleich mit diesem Ausdrucke dem allgemeinen Sprachgebrauche gemäss die Vorstellung von einem Bewegung-erzeugenden Objecte verbindet, wird man zu der irrigen Annahme geleitet, als ob eine mechanische Leistung — die Entstehung einer Bewegung — ohne einen entsprechenden Aufwand eines messbaren Objectes stattfinden könne, und hier liegt offenbar auch der Grund, warum unser Autor weder mit den Thatsachen, noch mit sich selbst in's Reine kommen konnte. Hat man einmal die Entstehung einer Bewegung aus Nichts statuirt, so muss man folgerichtig auch die Vernichtung einer Bewegung zulassen, und die Grösse der Bewegung muss dieser Annahme gemäss der Geschwindigkeit einfach proportional, oder $= Mc$, und das „Quantum der einmal vorhandenen Bewegung“ $= + Mc - Mc = 0$ gesetzt werden. Der genannte Naturforscher erklärt aber trotz seiner „unerschöpflichen Kräfte“ die Bewegung ausdrücklich für unzerstörlich; statt sich aber dann darüber auszusprechen, was aus der Bewegung wird, die bei der Reibung verschwindet,

sagt er an einer anderen Stelle wieder, es bleibe „unentschieden“, ob die Wirkung der Kraft — die hervorgebrachte Bewegungsgrösse — durch die erste, oder ob sie durch die zweite Potenz der Geschwindigkeit gemessen werde (d. h. ob dieselbe zerstörlich sei oder nicht); ja er scheint wiederholten Aeusserungen nach sogar für möglich zu halten, dass aus einer gegebenen Menge von Wärme Bewegung *in infinitum* entwickelt werden könne! Wenn dem so wäre, dann dürfte freilich an eine Umwandlung dieser Grössen in einander nicht gedacht werden, und es wäre vielmehr für die Contact-Theorie der Boden gewonnen.

Die Polemik meines verehrten Kritikers, den ich hier als den Vertreter herrschender Ansichten redend eingeführt habe, und dem ich mich für die aufmerksame Prüfung meiner ersten Arbeit zu wahrem Danke verpflichtet fühle, scheint mir insofern von vornherein eine verfehlte, als die erste Aufgabe bei Bekämpfung meiner Behauptungen, die sich alle um den einen Punkt einer unveränderlichen Grössenbeziehung zwischen der Wärme und der Bewegung drehen, die sein musste, nachzuweisen, dass und wo diese Grössenbeziehung eine veränderliche ist. Formelle Controversen ohne materielle Basis schweben in der Luft, und was insbesondere die Kräftefrage anbelangt, so handelt es sich ja zunächst nicht darum, was eine „Kraft“ für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir „Kraft“ nennen wollen. Ein Hin- und Herreden über die Schwere ist, da alle Sachverständigen über das Wesen derselben einig sind, unfruchtbar; denn die Schwere

ist und bleibt ein der anziehenden Masse direct und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionaler Differential-Quotient aus der Zeit in die Geschwindigkeit, und es sind über diesen Punkt die Acten längst geschlossen. Ob es aber zweckmässig ist, diese Grösse eine Kraft zu nennen, das ist eine andere Frage.

Da man, wo es sich um wesentliche Neuerungen handelt, so gerne missverstanden wird, so will ich meine Behauptung, dass der Ausdruck „Schwerkraft“ ein unpassender ist, hier nochmals aufs deutlichste motiviren.

Es ist eine unumstössliche Wahrheit, dass die Entstehung jeder Fallbewegung mit dem entsprechenden Aufwande einer messbaren Grösse verbunden ist. Dieser Grösse, wenn sie anders ein Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung sein soll — und warum sollte sie es nicht? — muss ein Name werden, und es ist dem Genius der Sprache, dieser Manifestation des logischen Instincts der Menschheit, angemessen, hier kein anderes, als das Wort „Kraft“ zu wählen. Da aber dieser Ausdruck bereits in einer ganz anderen Bedeutung gebraucht wird, so könnte man versucht sein, dem — in der fundamentalen Wissenschaft wenigstens — noch unbenannten Begriffe geradezu einen neuen Namen zu schöpfen. Bevor wir jedoch zu diesem extremen Mittel, das uns aus naheliegenden Gründen mit dem Bestehenden ohnedies am meisten in Conflict bringen würde, greifen, ist es vernunftgemäss, zu untersuchen, ob das, dem vorliegenden Bedürfnisse an und für sich so gut entsprechende Wort „Kraft“ dort, wo es die Schule zuerst hingestellt hat, auch am rechten Platze ist.

Dem allgemeinen Sprachgebrauche zu Folge versteht man unter „Kraft" etwas Bewegendes — eine Bewegungsursache — und wenn der Ausdruck „bewegende Kraft" somit eigentlich ein Pleonasmus ist, so ist auf der andern Seite der Begriff von einer nicht bewegenden oder „todten" Kraft eine *contradictio in adjecto.* Sagt man z. B.: eine Last, die mit ihrem Gewichte auf den Boden drückt, übe dadurch eine Kraft aus — eine Kraft, die, mag sie so gross sein, als sie will, für sich nicht im Stande ist, die mindeste Bewegung hervorzubringen — so ist eine solche Auffassungs- und Ausdrucksweise zwar eine schulgerechte; sie ist aber so gekünstelt, dass sie die Quelle von unzähligen Missverständnissen wird.

Zwischen der Schwere und der Schwerkraft ist mir kein Unterschied bekannt, und halte ich desshalb den letzteren Ausdruck, weil er schwülstig ist, für unwissenschaftlich.

Man wende mir nicht ein, die Druck„kraft", Schwer„kraft", Cohäsions„kraft" etc. sei die höhere Ursache des Drucks, der Schwere u. s. w. In den exacten Wissenschaften hat man es mit den Erscheinungen selbst, mit messbaren Grössen, zu thun; der Urgrund der Dinge aber ist ein dem Menschenverstande ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit, wohingegen „höhere Ursachen" „übersinnliche Kräfte" u. dgl. mit all' ihren Consequenzen in das illusorische Mittelreich der Naturphilosophie und des Mysticismus gehören.

Vermöge eines überall gültigen Gesetzes geht die Verschwendung Hand in Hand mit dem Mangel. Wenn

wir in dem vorliegenden Falle, bei welchem sich diese Regel ebenfalls bewahrheitet, eine Ausgleichung eintreten lassen und das Wort „Kraft“ von da, wo es überflüssig und nachtheilig ist, weg — und dahin bringen, wo es uns fehlt, so räumen wir dadurch zwei wichtige Hindernisse zugleich weg. Sofort ist der Eingang in die Bewegungslehre nicht erst von den Höhen der Mathematik aus zu erreichen; die Natur stellt sich vielmehr in einfacher Schönheit dem überraschten Auge dar, und selbst der Minderbefähigte vermag viele Gegenstände zu erblicken, die bisher den grössten Gelehrten verborgen geblieben sind.

Kraft und Materie sind unzerstörliche Objecte. Dies Gesetz, auf das sich die einzelnen Thatsachen am einfachsten zurückführen lassen, und das ich desshalb bildlich den heliocentrischen Standpunkt nennen möchte, ist eine naturgemässe Grundlage für die Physik, Chemie, Physiologie und — Philosophie.

Unter die zwar bekannten, aber bis jetzt nur empirisch constatirten und vereinzelt dastehenden Thatsachen, die sich auf dieses Naturgesetz leicht zurückführen lassen, gehört die, dass die elektrische und magnetische Anziehung so wenig als die Schwere isolirt werden kann, oder dass die Stärke dieser Anziehungen bei gleich bleibender Entfernung durch die Dazwischenkunft von indifferenten Stoffen (von Nichtleitern) keine Veränderung erleidet.

Unter den bis auf die neueste Zeit unbekannt gebliebenen Thatsachen will ich nur des Einflusses gedenken, den die Ebbe und Fluth den bekannten

Gesetzen der Mechanik gemäss auf die Axendrehung der Erde ausübt. Dass dieser wichtige, mit dem eben genannten Grundgesetze enge zusammenhängende Gegenstand der Aufmerksamkeit der Naturforscher hat entgehen können, ist ein factischer Beweis gegen die ausschliessliche Berechtigung des herrschenden Systems.

Uebrigens wird es denen, welche mit der neueren Literatur vertraut sind, nicht entgangen sein, dass sich in der wissenschaftlichen Sprache eine meiner Auffassungsweise günstige Veränderung dermalen vorbereitet. Die Zeit muss aber bei solchen Dingen das Meiste thun. —

Nach dem Bisherigen haben wir die lebendige Kraft der Bewegung eine Kraft zu nennen. Da man aber in der Mechanik unter diesem Ausdrucke ebensowohl eine der Masse und dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit, als eine der Masse und der Fallhöhe proportionale Grösse versteht, so zerfällt diese Kraft naturgemäss wieder in zwei sehr leicht von einander zu unterscheidende Arten, wovon jede eines besonderen Kunstausdruckes bedarf, und schienen mir die Worte *Bewegung* und *Fallkkaft* hiezu die passendsten zu sein.

„Bewegung“ ist also dieser Definition nach immer nur eine durch das Product der bewegten Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit, nicht aber eine durch das Product der Masse in die Geschwindigkeit messbare Grösse.

Unter „Fallkraft“ ist ein gehobenes Gewicht, oder

allgemeiner noch, der räumliche Abstand ponderabler Objecte zu verstehen. In vielen Fällen wird die Grösse der Fallkraft hinreichend genau durch das Product der gehobenen Last in ihre Höhe gemessen, und die Ausdrücke „Fusspfund" „Kilogrammeter" „Pferdekraft" u. a. m., sind conventionelle Masseinheiten dieser Kraft, welche insbesondere in der praktischen Mechanik neuerdings allgemein gebraucht werden. Um aber den genauen Massausdruck für die in Rede stehende Grösse zu finden, haben wir uns (zum mindesten) zwei Massen zu denken, welche in einer bestimmten Entfernung von einander sich befinden und durch Annäherung Bewegung erhalten, und es muss nun die Beziehung aufgesucht werden, welche zwischen den Bedingungen der Bewegung, nämlich der Quantität der Massen und ihrer anfänglichen sowohl, als übrigbleibenden Entfernung, und der hervorgebrachten Bewegung existirt.

Merkwürdiger Weise ist diese Beziehung die denkbar einfachste, denn dem Newton'schen Gravitations-Gesetze gemäss ist die entstandene Bewegungsgrösse den Massen und dem Fallraume direct, den beiden Entfernungen der Schwerpunkte aber umgekehrt proportional. D. h. wenn A u. B die beiden Massen, c u. c' ihre erlangten Geschwindigkeiten, h und h' die erste und zweite Entfernung, so ist

$$Ac^2 + Bc' = \frac{A \,.\, B\,(h - h')}{h \,.\, h'},$$

mit Worten: **Die Fallkraft ist gleich dem Producte der Massen in den Fallraum, dividirt durch die beiden Entfernungen.**

Mit Hilfe dieses Satzes, der, wie man leicht sieht, nur ein allgemeinerer und bequemerer Ausdruck des Newton'schen Gravitations-Gesetzes ist[1], lassen sich die Gesetze des Falls aus kosmischen Höhen und im allgemeinen auch die Central-Bewegungen entwickeln, ohne dass män dabei über die Gleichungen des zweiten Grades hinauszugehen nöthig hat.

Nachdem wir jetzt zwei Kräftearten, die Bewegung und die Fallkraft, kennen gelernt haben, so können wir der bekannten Regel gemäss den Gattungsbegriff „Kraft“ dadurch bilden, dass wir die gemeinschaftlichen Merkmale der beiden Arten zusammenfassen, und haben wir zu dem Ende die Eigenschaften dieser Objecte näher zu betrachten. Die wichtigste derselben beruht auf ihrer gegenseitigen Beziehung. Wo eine gegebene Menge von Fallkraft verschwindet, da entsteht Bewegung, und durch den Aufwand dieser letzteren lässt sich die Fallkraft in ihrer ursprünglichen Grösse wieder herstellen.

Diese, zwischen der Fallkraft und der Bewegung bestehende constante Proportion, welche in der höheren Mechanik unter dem Namen „Princip der Erhaltung lebendiger Kräfte“ aufgeführt wird, kann kurz

[1] Die Newton'sche Formel bezieht sich auf den speciellen Fall, wo die beiden Entfernungen einander gleich sind und daher aus dem Producte derselben ein Quadrat wird. Für diesen Fall wird aber sowohl der Fallraum, als die Geschwindigkeit zu null, und es sind desshalb, wenn man von hier ausgehend reelle Geschwindigkeiten zu berechnen hat, mathematische Kunstgriffe nöthig, welche in der elemantaren Wissenschaft nicht angewendet werden dürfen.

und passend mit dem Ausdrucke „Umwandlung“ bezeichnet werden. Wir können also z. B. sagen: ein Planet, der aus der Sonnenferne in die Sonnennähe gelangt, verwandelt einen Theil seiner Fallkraft in Bewegung, und setzt, während er sich von der Sonne wieder entfernt, einen Theil seiner Bewegung in Fallkraft um. Etwas anderes, als eine constante numerische Beziehung soll und kann hier das Wort „Umwandeln“ nicht ausdrücken.

Die Entstehung einer bestimmten Menge von Bewegung aus einer gegebenen Menge von Fallkraft, und umgekehrt, setzt aber dem S. 254 erwähnten Axiome zu Folge voraus, dass sowohl die Fallkraft, als die Bewegung weder im Ganzen noch einem Theile nach zu Null werden kann. Wir erhalten also folgende Definition:

Kräfte sind wandelbare, unzerstörliche und — zum Unterschiede von den Materien — imponderable Objecte. (Vergl. a. a. O. S. 4.)

Es schliesst diese Definition, wie man leicht sieht, u. a. die Thatsache in sich ein, dass die bei verschiedenen mechanischen Processen verschwindende Bewegung mit der dabei entstehenden Wärme in constanter Proportion steht, oder dass sich die Bewegung, als eine unzerstörliche Grösse, in Wärme verwandeln lässt. Die Wärme ist also wie die Bewegung eine Kraft, die Bewegung wie die Wärme ein Imponderabile.

Die Beziehung, in welcher die Kräfte zu einander stehen, habe ich dadurch charakterisirt, dass ich sie (a. a. O. S. 5) „verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objectes“ genannt habe. Dabei habe ich mich aber ausdrücklich gegen die zwar nahe gelegte, aber doch unerwiesene und meiner Ansicht nach zu weit gehende Folgerung erklärt, als ob die Wärmeerscheinungen schlechthin als Bewegungserscheinungen aufzufassen seien. Es heisst hierüber S. 9:

„So wenig indessen aus dem zwischen Fallkraft „und Bewegung bestehenden Zusammenhange geschlos„sen werden kann: das Wesen der Fallkraft sei Be„wegung, so wenig gilt dieser Schluss für die Wärme. „Wir möchten vielmehr das Gegentheil folgern, dass „um zu Wärme werden zu können, die Bewegung — „sei sie eine einfache oder vibrirende, wie das Licht, „die strahlende Wärme etc. — aufhören müsse, Bewe„gung zu sein.“

Der Zusammenhang, in welchem, wie wir gesehen haben die Wärme mit der Bewegung steht, bezieht sich auf die Quantität, nicht auf die Qualität, denn es sind — um mit Euklid zu reden — Gegenstände, die einander gleich sind, sich desshalb noch nicht ähnlich. Hüte man sich, den Boden des Objectiven zu verlassen, wenn man sich nicht in selbstbereitete Schwierigkeiten verwickeln will!

Inzwischen geht wenigstens so viel aus dem Bisherigen hervor, dass es keine specifische Fluida sind, denen die Erscheinungen der Wärme, der Electricität und des Magnetismus ihr Dasein verdanken und es

wird somit die schon vor einem halben Jahrhunderte von Rumford behauptete Immaterialität der Wärme, durch die Auffindung des mechanischen Aequivalents derselben zur Gewissheit.

Die Kraftform, welche mit dem Namen „Wärme“ bezeichnet wird, ist offenbar keine einheitliche, vielmehr werden unter dieser Benennung verschiedenartige, obwohl unter sich äquivalente Objecte zusammengefasst, von denen dem Sprachgebrauche gemäss drei Hauptformen zu unterscheiden sind: nämlich I. die strahlende, II. die freie, specifische, und III. die latente Wärme.

Dass die strahlende Wärme als eine Bewegungserscheinung zu betrachten ist, darüber kann kein Zweifel obwalten; sind doch die Interferenz-Erscheinungen neuerdings auch bei der Wärmestrahlung nachgewiesen worden. Ob es aber, wie man anzunehmen pflegt, wirklich eine specifische Aetherflüssigkeit gibt, die durch ihre vibrirende Bewegung als strahlende Wärme sich manifestirt, oder ob diese Bewegung den Massentheilen der verschiedenen Körper selbst zukommt, dies ist noch nicht ausgemacht.

Noch mehr ist das Wesen der specifischen Wärme, oder das, was im Innern eines erwärmten Körpers vorgeht, in Dunkel gehüllt. Nicht nur dass die ungelöste Aetherfrage hier wiederum eine Rolle spielt, sondern wir müssten auch, um über diesen Gegenstand in's Reine kommen zu können, zuvor eine genaue Kenntniss von dem innersten Wesen der Materien besitzen. Allein dazu fehlt noch viel; denn es ist uns insbesondere unbekannt, ob es Atome gibt, d. h. ob die Materien

aus solchen Bestandtheilen zusammengesetzt sind, die bei den chemischen Processen an sich keine Formveränderung mehr erfahren.

Dem Menschen, dem nur eine Spanne von der Zeit, die sich nach rück- und vorwärts in die Ewigkeit fortsetzt, hienieden zugemessen ist, und dessen Fuss nur einen nach oben und unten hin enge abgegrenzten Raum zu betreten vermag, sind auch in seiner wissenschaftlichen Erkenntniss sowohl in der Richtung nach dem unendlich Grossen als dem unendlich Kleinen hin natürliche Schranken gezogen. Die Atomen-Frage aber führt uns wie mir scheint über diese Schranke hinaus und halte ich sie desswegen für unpraktisch. Ein Atom an sich wird, sowenig als ein Differential, Gegenstand unserer Untersuchung sein können, obgleich das Verhältniss, in welchem solche unmessbar kleine Hilfsgrössen unter sich stehen, durch concrete Zahlen darstellbar ist. In jedem Falle aber ist der Begriff von einem Atome stets nur relativ aufzufassen und in Beziehung zu einem bestimmten Processe zu denken; denn bei der Bildung und Zersetzung eines Salzes z. B. können bekanntlich die Massentheilchen der Säure und der Basis die Rolle von Atomen spielen, während bei anderen Processen diese Atome selbst wieder der Zerlegung unterliegen.

Angenommen nun — was allerdings u. a. aus den Gesetzen der Isomorphie mit Wahrscheinlichkeit hervorgeht — dass es wirklich in chemischer Beziehung Atome gibt, so wäre die weitere Frage zu beantworten, ob man bei fortgesetzter Theilung der Materie

zuletzt auch auf Moleküle gelangt, die in Beziehung auf die Wärmeerscheinungen Atome sind, in deren Inneres die Wärme also nicht zu dringen im Stande wäre, und die bei der Erwärmung des Ganzen eine Volumens-Vermehrung ihrerseits nicht erfahren würden? Da uns die Anhaltspunkte zur Beantwortung solcher nothwendigen Vorfragen fehlen, so sind wir zu dem Ausspruche genöthigt, dass wir uns — ob mit oder ohne Annahme von Aether und Atomen — was das Wesen der specifischen Wärme betrifft, im Zustande des Nichtwissens befinden.

Der Ausdruck „latente Wärme" bezieht sich auf die richtig erkannte Eigenschaft der Unzerstörlichkeit derselben. In allen Fällen, wo die thermometrisch-wahrnehmbare, specifische Wärme verschwindet, muss angenommen werden, dass dieselbe nur dadurch der Wahrnehmung sich entzieht, dass sie eine andere Daseinsform annimmt, und dass durch einen geeigneten Rückführungs-Process die freie Wärme in ihrer ursprünglichen Grösse wieder hergestellt werden kann. Dies ist das Thatsächliche der Lehre von der latenten Wärme, und es können also, soferne man sich nur an dieses hält, alle hieher gehörigen Erscheinungen als Belege für das in Rede stehende Princip der Umwandlung und der Erhaltung der Kraft in Anspruch genommen werden.

Der Begriff der latenten Wärme ist hiernach kein anderer, als der eines der freien Wärme äquivalenten Gegenstandes, und es umfasst also die Lehre von der freien und latenten Wärme so ziemlich das ganze

Gebiet der Physik. Einige aus der Fülle der Thatsachen gewählte Beispiele mögen zeigen, auf welche Weise die Erscheinungen, bei welchen Wärme latent wird, meiner Ansicht nach aufzufassen sind.

Wenn einem unter constantem Drucke befindlichen Gase Wärme zugeführt wird, so wird die freie Wärme des Gases vermehrt, und es wird zugleich eine berechenbare Quantität von Wärme latent, dabei dehnt sich das Gas aus, und dadurch wird eine, der Grösse des Druckes und des zurückgelegten Raumes proportionale Menge von lebendiger Kraft erzeugt. Sobald wir nun wissen, wie viel von der latent gewordenen Wärme auf Rechnung der Ausdehnung des Gases kommt, so kennen wir auch den, der hervorgebrachten lebendigen Kraft entsprechenden Rest der latenten Wärme. Nun hat *Gay-Lussac* durch Versuche bewiesen, dass die specifische Wärme eines Gases, das aus einem Behälter in einen luftleeren Raum einströmt, keine merkliche Veränderung erfährt. Daraus geht hervor, dass ein gasförmiger Körper dem Auseinanderreissen seiner Massentheile keinen wahrnehmbaren Widerstand entgegensetzt, und dass bei der Verdünnung eines Gases an und für sich, d. h. wenn dieselbe ohne Kraftentwicklung vor sich geht, keine Wärme latent wird. Es ist also die ganze, bei der Ausdehnung eines Gases latent werdende Wärmemenge das Aequivalent für die erzeugte lebendige Kraft.

Aus dem von Niemanden in Zweifel gezogenen Principe der Unzerstörlichkeit der Wärme folgt, dass die auf solche Weise latent gewordene Wärmemenge

wieder frei werden muss, wenn mittelst der gewonnenen lebendigen Kraft der Bewegung auf irgend welche Weise Wärme erzeugt wird. Bewegung ist latente Wärme, und Wärme ist latente Bewegung.

Eine specielle Anwendung dieses allgemeinen Satzes ist das berühmte Gesetz von *Dulong:* dass die Wärmemenge, welche man durch das Zusammendrücken von Luftarten erhält, nur von dem Kraftverbrauche und nicht von der chemischen Beschaffenheit, der Spannung und der Temperatur dieser Gase abhängig ist. Dass aber dieses Naturgesetz noch eine viel allgemeinere Giltigkeit hat, und dass die bei der Ausdehnung eines Gases latent werdende Wärmemenge in jedem Falle wieder zum Vorschein kommt, wenn man die gewonnene lebendige Kraft, sei es nun durch Luft-Compression, durch Reibung oder durch unelastischen Stoss, zur Wärmeerzeugung benützt, dies habe ich in dem mehrerwähnten Aufsatze dargelegt, und dort das mechanische Aequivalent der Wärme nach unbestreitbar richtigen Prämissen berechnet. Als Gegenprobe habe ich damals die Wärme gemessen, die bei der Papierfabrikation in den Holländern erzeugt wird, und dieselbe mit der verbrauchten Arbeitskraft verglichen, wobei sich eine befriedigende Uebereinstimmung herausgestellt hat. Neuerdings ist es mir auch gelungen, zur direkten Bestimmung des mechanischen Aequivalents der Wärme einen sehr einfachen Wärmebewegungsmesser in kleinerem Massstabe zu construiren, mit welchem sich die Richtigkeit des in Rede stehenden Princips *ad oculos* demonstriren lässt, und ich habe

Grund zu glauben, dass mittelst eines solchen calorimotorischen Apparates auch der Nutzeffect von Wasserwerken und Dampfmaschinen leicht und vortheilhaft gemessen werden kann. Doch muss es dem künftigen Urtheile der Techniker vorbehalten bleiben, darüber zu entscheiden, ob und wie weit diese Methode vor der Prony'schen den Vorzug verdient.

Ein Latent-werden von Wärme findet ferner bei gewissen Aggregat-Veränderungen der Körper statt. Da es eine ausgemachte Thatsache ist, dass feste sowohl als tropfbarflüssige Körper der Trennung ihrer Theile einen gewissen Widerstand entgegensetzen, und da die Beseitigung mechanischer Widerstände im Allgemeinen einen Verbrauch von lebendiger Kraft bedingt, so lässt sich schon *a priori* vermuthen, dass da, wo die Cohäsion eines Körpers vermindert, beziehungsweise aufgehoben wird, Kraft oder Wärme latent werden muss, was bekanntlich mit der Erfahrung gut übereinstimmt.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, hat der französische Physiker *Person* auf experimentalem Wege nachzuweisen gesucht, dass die latente Schmelzwärme der Metalle, über welche er viele Beobachtungen angestellt hat, mit der Cohäsion dieser Körper in einem directen Grössenverhältnisse stehen. Es sind aber solche Bestimmungen dermalen mit kaum zu überwindenden Schwierigkeiten verknüpft.

Auf ganz ähnliche Weise hat *Holtzmann* in seiner wichtigen Arbeit „Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe“ die bei der Verdampfung des

Wassers latent werdende Wärme aufgefasst. Von dem Satze ausgehend, dass das Aequivalent der Temperatur-Erhöhung eine Gewichts-Erhebung sei, berechnet dieser Gelehrte das mechanische Aequivalent der Wärme ebenfalls aus der bei der Ausdehnung eines Gases latent werdenden Wärme und denkt sich die latente Wärme des Dampfes sehr richtig in zwei Theile zerlegt, wovon der eine, kleinere, zur Ueberwindung des entgegenstehenden atmosphärischen Druckes verwendet wird und hiernach mit Hilfe des mechanischen Aequivalents der Wärme leicht bestimmt werden kann; den übrig bleibenden, nun ebenfalls berechenbaren Theil nennt *Holtzmann:* die zur Aufhebung der Cohäsion des Wassers erforderliche Wärme. Diese letztere geht bei allen Dampfmaschinen verloren und *Holtzmann* berechnet aus diesen Prämissen, um wie viel vortheilhafter Hochdruckmaschinen arbeiten, als Niederdruckmaschinen[1].

Wenn die eben gegebene Auffassung von der latenten Schmelz- und Verdampfungswärme richtig ist, so muss auch beim Pulverisiren harter Körper ein Latentwerden von Wärme statt finden, und es müssen solche Körper, wenn sie aus dem feinzertheilten in den tropfbarflüssigen Zustand übergehen, eine kleinere Menge von Wärme binden, als wenn die Auflösung vom unzertheilten Zustande aus erfolgt. Einige von mir hierüber angestellte Versuche haben mir inzwischen noch kein bestimmtes Resultat gegeben.

[1] Den grössten Nutzeffect müssen solche Maschinen geben, bei welchen der Dampf während seiner Expansion eine Wärmezufuhr erhält.

Bemerkenswerth ist auch, dass gewisse feste, einer allotropischen Veränderung fähige Körper, z. B. die Sauerstoffverbindungen des Eisens, beim Uebergange aus dem Zustande einer geringeren in den einer grösseren Härte bedeutende Wärmemengen zu entwickeln vermögen. Solche Thatsachen, deren man wohl mit der Zeit eine immer grössere Zahl kennen lernen wird, stimmen mit dem obigen Satze gut überein, dass die Cohäsions-Verminderung mit einem Kraft- oder Wärme-Verbrauche, und die Cohäsionsvermehrung dagegen mit einer Wärme-Erzeugung verknüpft ist.

Der herrschende Sprachgebrauch, welcher die Schwere mit dem Namen einer bewegenden Kraft, die Wärme mit der eines Stoffes bezeichnet, macht, dass einerseits die Bedeutung eines wichtigen Naturgegenstandes, des Fallraumes, dem Bewusstsein möglichst ferne gerückt wird, und andererseits die Wärme eine von der lebendigen Kraft der Bewegung weit entlegene Stelle erhält. Das wissenschaftliche System wird dadurch zu einem künstlichen, auf dessen zerklüftetem Grunde man sich überall nur mittelst des mächtigen Hilfsmittels der höheren Analysis sicher fortbewegen kann.

Ohne Zweifel ist diesem Uebelstande auch zuzuschreiben, dass der so einfache und nahe liegende Zusammenhang der Wärme und der Bewegung bis auf die neueste Zeit hat verborgen bleiben können. Indessen mussten, wie schon oben angedeutet, die Massbestimmungen der chemischen Wärme-Effecte und der galvanischen Actionen, sowie die im Sinne *Liebig's* über die Lebenserscheinungen angestellten Untersuchungen bald zu dem unschwer aufzufindenden Gesetze von der Aequivalenz der Wärme und der Bewegung führen.

In der That wurde dieses Gesetz und dessen numerischer Ausdruck, das mechanische Aequivalent der Wärme, fast gleichzeitig in Deutschland und in England veröffentlicht.

Von der Thatsache ausgehend, dass die Grösse des chemischen sowohl, als des galvanischen Effectes einzig und allein von der Grösse des Material-Verbrauches abhängt, wurde der berühmte englische Physiker *Joule* zu dem Satze geführt, dass die Bewegungs- und die Wärmeerscheinungen wesentlich auf einem und demselben Principe beruhen, oder, wie er sich auch gleich mir ausdrückt, dass sich Wärme und Bewegung ineinander verwandeln lassen.

Ausserdem dass diesem Gelehrten die selbstständige Auffindung des genannten Naturgesetzes nicht bestritten werden kann, so hat sich derselbe auch um die weitere Begründung und Entwicklung desselben zahlreiche und wichtige Verdienste erworben. *Joule* hat gezeigt, dass wenn mittelst des Electromagnetismus Bewegung erzeugt wird, der Wärme-Effect des galvanischen Stromes in einem entsprechenden, constanten Verhältnisse sich vermindert. Ferner hat derselbe nachgewiesen, dass durch Umkehren der Pole eines Magnetstabes eine dem Quadrate der magnetischen Spannung proportionale Wärmemenge erzeugt wird, — eine Thatsache, die von mir ebenfalls, jedoch später, aufgefunden worden ist. Insbesondere hat auch *Joule* mittelst zahlreicher Versuche dargethan, dass die unter verschiedenen Umständen durch Reibung entwickelte Wärme mit dem Kraftverbrauche in einem unveränder-

lichen Verhältnisse steht. Nach seinen neuesten Versuchen dieser Art hat er das mechanische Aequivalent der Wärme = 423[1] gesetzt.

Auch hat *Joule* über das hieher gehörige thermische Verhalten elastischer Flüssigkeiten bei der Ausdehnung Experimental-Untersuchungen angestellt und dadurch frühere Angaben anderer Physiker bestätigt. —

Der neue Gegenstand fieng bald an, die Aufmerksamkeit der Gelehrten zu erregen. Da aber derselbe im Aus- und Inlande als eine ausschliesslich fremde Entdeckung abgehandelt wurde, so versetzte mich dies in die Nothwendigkeit, meine auf Priorität sich gründenden Ansprüche geltend zu machen. Denn wenn gleich die von mir veröffentlichten wenigen Arbeiten, die in der Fluth von Druckschriften, welche jeder Tag bringt, fast spurlos verschwunden sind, schon in ihrer Form den Beweis enthalten, dass ich nicht nach Effect hasche, so soll damit doch keineswegs eine Geneigtheit, von dokumentirten Eigenthumsrechten abzugehen, ausgesprochen sein.

[1] D. h. 1 Calorie = 423 Kilogrammeter.

Mit Hilfe des mechanischen Aequivalents der Wärme lassen sich Probleme lösen, welche ohne dasselbe nicht in Angriff genommen werden konnten, und es ist hieher insbesondere die Berechnung des durch den Zusammenstoss kosmischer Massen hervorgebrachten Wärme-Effectes zu zählen, worüber eine kurze Andeutung noch am Platze sein wird.

Eine Aufgabe dieser Art ist folgende: Angenommen, ein kosmischer Körper tritt mit einer Geschwindigkeit von 4 geogr. Meilen per Sek. in die Atmosphäre unserer Erde ein und verliert durch den hier stattfindenden Widerstand soviel von seiner lebendigen Kraft der Bewegung, dass die Geschwindigkeit, die ihm beim Austreten aus der Atmosphäre übrig geblieben ist, 3 Meilen beträgt, so entsteht die Frage, wie gross ist der bei diesem Vorgange stattfindende Wärme-Effect?

Unter Zugrundelegung des mechanischen Aequivalents der Wärme findet man durch einfache Rechnung, dass die gesuchte Wärmemenge ungefähr 8 mal grösser ist, als die Verbrennungswärme eines gleichen

Gewichtes Kohlen, diese zu 6000 Wärmeeinheiten per Kil. gerechnet. Daraus geht hervor, dass die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Sternschnuppen und Feuerkugeln bewegen, und die sich bekanntlich den astronomischen Beobachtungen gemäss auf 4 bis 8 Meilen beläuft, die vollgiltige Bedingung der heftigsten Hitzeentwicklung ist, und es ist uns dadurch eine Einsicht in die Natur dieser merkwürdigen Phänomene eröffnet [1].

Eine Aufgabe ähnlicher Art ist ferner folgende: Wenn zwei kosmische Massen, welche im Weltraume um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt sich bewegen, durch irgend etwas, z. B. durch einen Widerstand des sie umgebenden Mediums veranlasst werden, zusammenzufallen, so wird wieder gefragt, wie gross der Wärme-Effect ist, der diesem mechanischen Verbindungs-Processe entspricht?

Wenn man auch die Elemente der Bahnen — d. h. die Excentricität derselben — nicht kennt, so lässt sich aus dem gegebenen Gewichte und Volumen der resp. Massen doch das Minimum und das Maximum des gesuchten Effectes auffinden. Es möge nun beispielsweise angenommen werden, unsere Erde sei in zwei gleich grosse Kugeln getheilt gewesen, die sich auf die angegebene Weise vereinigt haben, so lehrt

[1] Die Ansicht, dass die in Rede stehenden Meteore ihr Licht einem mechanischen Processe — sei es nun der Reibung, oder der Luft-Compression — verdanken, ist nicht neu; es konnte dieselbe aber ohne die Kenntniss des mechanischen Aequivalents der Wärme nicht wissenschaftlich begründet werden.

die Rechnung, dass hier in jedem Falle bedeutend mehr Wärme entwickelt werden musste, als bei gleichem Gewichts-Verbrauche der intensivste chemische Process zu liefern im Stande gewesen wäre.

Es ist mehr als wahrscheinlich, dass die Erde auf derartige Weise entstanden ist, und dass in Folge dieses Processes unsere Sonne von Fixstern-Entfernung aus gesehen, zu jener Zeit ein vorübergehendes Auflodern ihres Lichtes gezeigt hat. Was aber in unserem Sonnensysteme vielleicht vor Millionen von Jahren stattgefunden hat, dies geht noch gegenwärtig am Fixsternhimmel hie und da vor, und es lassen sich die vorübergehenden Erscheinungen von Sternen, welche zum Theil, wie der berühmte Stern *Tycho's*, mit ausserordentlicher Lichtstärke auftreten, durch die Annahme eines Zusammenfallens vorher unsichtbarer Doppelgestirne auf eine befriedigende Weise erklären.

Solchen explosiven Lichtentwicklungen steht das ruhige Strahlen gegenüber, welches die meisten Fixsterne und darunter auch unsere Sonne durch ungeheure Zeiträume hindurch gleichförmig andauernd zeigen. Begründen nun diese, zu höheren Betrachtungen vorzugsweise einladenden Erscheinungen eine wirkliche Ausnahme von dem nach dem Bisherigen als constatirt zu betrachtenden Naturgesetze der Erschöpfung der Ursache durch die Wirkung, oder ist uns bei der kleinen Summe des menschlichen Wissens erlaubt, auch hier an ein Gleichgewicht zwischen Leistung und Verbrauch zu denken und nach den Bedingungen eines solchen zu forschen?

Ein näheres Eingehen auf diesen Gegenstand würde uns über den Zweck der vorliegenden Abhandlung hinausführen, und so schliesse ich in der Hoffnung, dass es dem Leser gefallen möge, Manches, was in dieser Schrift ungesagt geblieben ist, durch eigenes Nachdenken zu ergänzen.



DATE DUE			

